QUADERNO
DEL DOTTORATO DI RICERCA IN
INGEGNERIA EDILE/ARCHITETTURA - UE

VOLUME 1

COLLANA

QUADERNI DEL DOTTORATO DI RICERCA IN INGEGNERIA EDILE/ARCHITETTURA – UE

DIRETTORE DELLA COLLANA

GIAN LUIGI PIETRA (COORDINATORE DEL DOTTORATO)

COMITATO SCIENTIFICO

GIANPAOLO CALVI
ENRICO MANDOLESI
CESARE STEVAN

REDAZIONE

MARCO MORANDOTTI (MARCO.MORANDOTTI@UNIPV.IT)
ALESSANDRO GRECO (AGRECO@UNIPV.IT)
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PAVIA
DIET – DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA EDILE E DEL TERRITORIO
VIA FERRATA 1
27100 PAVIA

L'idea di affiancare al Dottorato una collana di pubblicazioni è certamente impegnativa, se non altro perché l'iniziativa si propone l'impegno a presentarsi con una continuità temporale e di argomenti che non può certo esaurirsi nel breve periodo e tanto meno fermarsi a questa prima edizione di avvio.
I "Quaderni" nascono con l'intento di pubblicare i materiali prodotti nel corso del Dottorato dai singoli dottorandi, o nel contesto dei seminari organizzati nel programma didattico, siano essi dissertazioni, conferenze o lavori di ricerca.
La collana intende divenire un luogo di espressione di contributi specifici sui temi disciplinari del Dottorato, espressi dai giovani che hanno frequentato il Corso di Dottorato e sono arrivati al compimento della loro esperienza di ricerca.
Il primo volume che inaugura la Collana ha il compito, in un certo senso, di proporsi con motivazioni e argomenti di stimolo, se vuole suscitare aspettative e ottenere risposte adeguate; pertanto oltre alla dichiarazione di apertura ad ampio spettro su argomenti interessanti il Dottorato, il compito specifico di questo primo volume, ma auspicabilmente di tutti quelli che a cadenza annuale seguiranno, è segnatamente di favorire i Dottori di ricerca, ponendosi come ulteriore valorizzazione della loro attività scientifica e come occasione, aggiuntiva a quella fornita dalla tesi, di farsi conoscere all'esterno nel mondo scientifico e professionale.
Il contenuto di questi Quaderni vuole infatti dimostrare la volontà del Dottorato di incoraggiare la ricerca e l'approfondimento scientifico/disciplinare nei settori dell'Architettura Tecnica e della Composizione Architettonica, rispetto ad esempio ai temi della conoscenza delle tecniche costruttive (storiche o contemporanee), del recupero e della conservazione del patrimonio storico – architettonico, della morfologia urbana e del paesaggio, della conoscenza, comprensione e interpretazione dei linguaggi dell'architettura contemporanea.
I Quaderni, infine, intendono costituire una "memoria storica" che documenti le iniziative, la produzione e l'evoluzione di un Dottorato recente, sulla cui struttura didattico – disciplinare il Collegio sta lavorando sperimentalmente da alcuni anni e che si inserisce nella Scuola di Dottorato in Scienze per l'Ingegneria dove intende consolidare progressivamente una propria valenza connotante e specifica basata sul riconoscimento dei valori positivi di multidisciplinarità e integrazione come elementi costitutivi di un approccio possibile (ora teorico/critico, ora pragmatico/operativo) al più vasto tema del progetto di Architettura.
Lo scopo principale del primo volume della Collana dei Quaderni del Dottorato di Ricerca in Edile/Architettura - UE, che si auspica possa corredare la conclusione di ogni ciclo di Dottorato, è dunque certamente quello di favorire e raccogliere contributi diversi e di approfondimento, in modo da identificare questa iniziativa come una successione di contributi, uniti da denominatori comuni che li legano, come un filo di collana, pur con aspetti, articolazioni e valenze diverse, per testimoniare la vitalità del Dottorato e il valore di coloro che lo hanno frequentato.

Prof. Gian Luigi Pietra

Coordinatore del Corso di Dottorato di Ricerca in
Ingegneria Edile/Architettura - UE

INDICE

IL PROGETTO DELLE INFRASTRUTTURE DELLA SALUTE pag. 1
Rivalutazione dell'ospedale come spazio pubblico

TIZIANO CATTANEO
XVI Ciclo

RAGIONI ED ESPRESSIONE PER LA FACCIATA TECNOLOGICA pag. 35
Analisi morfologica e modelli sperimentali per un sistema involucro

MATTEO SPAIRANI
XVII Ciclo

IL PROGETTO DI INTERVENTO TRA INNOVAZIONE E CONSERVAZIONE pag. 71

DANIELA BESANA
XVIII Ciclo

INNOVAZIONE TECNOLOGICA ED ARCHITETTURA: CONTRIBUTI ED ESITI PER IL LINGUAGGIO E LA COMPOSIZIONE ARCHITETTONICA pag. 99

IOANNI DELSANTE
XVIII Ciclo

L'ARCHITETTURA DELL'ACCIAIO IN ITALIA pag. 125

MARCELLO ZORDAN
XVIII Ciclo

IL PROGETTO DELLE INFRASTRUTTURE DELLA SALUTE.
RIVALUTAZIONE DELL'OSPEDALE COME SPAZIO PUBBLICO

Tiziano Cattaneo

Università degli Studi di Pavia – Dipartimento di Ingegneria Edile e del Territorio
XVI Ciclo
Tutor: Prof. Marco Morandotti

Ambito di ricerca e individuazione del metodo

Alcune situazioni di criticità che investono la società negli ultimi decenni stanno determinando profonde trasformazioni nella progettazione della città e del territorio.
In considerazione del fatto che l'85% della popolazione europea vive in zone urbane, si deduce che le problematiche, economiche, sociali, culturali, ambientali, non solo si intersecano in queste aree, ma proprio in tale ambito manifestano il massimo della loro problematicità.
Parallelamente a questa situazione, come osserva Cesare Stevan, sulla base di uno studio effettuato dall'Assistenza Pubblica francese, "si vede come i costi ripartiti tra le varie spese sociali subiscano uno sviluppo differente soprattutto per quanto riguarda la proiezione per l'inizio del XXI secolo. In particolare sono previsti in forte crescita proprio i costi relativi alla sanità e ai trasporti: due tra gli elementi che caratterizzano in maggior misura la nostra società. Quindi, salute e mobilità aumentano tendenzialmente in modo maggiore rispetto altri costi"[1]
Il paesaggio della città contemporanea risulta oggi di difficile connotazione, in continuo cambiamento è caratterizzato da una grande eterogeneità. Uno spazio apparentemente privo di identità e dai caratteri morfologici indefiniti e linguaggi assai diversificati. Questo fenomeno ha ormai assunto connotati di irreversibilità (oggi il processo di inurbazione coinvolge più dei 2/3 della popolazione) pertanto si ritiene che si debba prendere atto di questa situazione e come descrive Lyotard[2], nella sua condizione postmoderna, non si debba provare nostalgia per l'unità e le esperienze totalizzanti del passato ma arricchire il progetto attraverso la riconoscibilità delle differenze, dei differenti linguaggi, dei materiali eterogenei che compongono la nostra società.
Tale situazione è rilevabile in prima istanza proprio dall'osservazione del paesaggio che si manifesta attraverso varie caratteristiche. Una delle più evidenti è quella della enorme diversità fra l'insieme delle permanenze e il complesso sistema formato dagli sviluppi degli ultimi 50/60 anni. In questa compresenza di materiali eterogenei e non comparabili tra loro emerge la problematica del progetto in questi territori legato sostanzialmente alla difficoltà di dare dei nomi ai luoghi, di definire, pertanto, i suoi limiti. Un territorio carico di tracce e stratificazioni che André Corboz definisce come "palinsesto".
Nella città contemporanea il progetto di architettura nella sua complessità si apre a nuovi temi e nuove possibilità operative. Ciò è dovuto a numerose motivazioni; tra queste le trasformazioni culturali e scientifiche in atto sono quelle che emergono in modo più evidente. Questo processo sta modificando il concetto di spazio urbano, e quindi il modo stesso di pensare un nuovo approccio alla organizzazione delle funzioni, all'uso dello spazio costruito e dell'innovazione tecnologica.
Le città sono diventati luoghi in cui l'organizzazione a rete delle grandi funzioni collettive dei trasporti e delle telecomunicazioni determina la concentrazione dei suoi nodi per realizzare connessioni e sinergie reciproche. La percezione, la fruizione e l'organizzazione dello spazio contemporaneo è quella di un continuum omogeneo in cui la città e il territorio pur frammentati ed eterogenei, diventano simili ad un grande intero.
E' possibile riconoscere quindi una sorta di fusione tra città e territorio, dove gli antichi confini delle città non sono più distinguibili in quanto calati all'interno di un tessuto insediativo diffuso e reticolare. Come descrive Ingersoll, è il passaggio dalla città difesa alla città diffusa, rappresenta gli estremi della sprawltown come nuova metafora della città e come fenomeno inevitabile per la situazione urbana attuale.
Questo può significare che attività come commercio, uffici, grandi alberghi, centri fieristici, centri di ricerca e università, ospedali oggi si distribuiscono sul territorio, in corrispondenza dei nodi delle grandi infrastrutture di trasporto.
E' quindi necessario riflettere sui fenomeni che stanno modificando il concetto contemporaneo

di città e territorio, analizzando questi argomenti a partire da una prospettiva molto ampia. Nel tentativo di definire la città di oggi si propone una riflessione su quali nuovi spazi vengono generati ai margini degli attuali mezzi di comunicazione e di informatizzazione, quali le relazioni che si instaurano con essi. I cambiamenti in atto nella città influiscono sul progetto di architettura e per chiarire alcuni argomenti si riporta la definizione di André Corboz per la città futura: "La futura megalopoli, identica al territorio, conterrà una quantità di spazi non urbani, che verranno chiamati natura. Sarà costituita da una moltitudine di reticoli e apparirà, a occhi retrogradi, come una sorta di non-luogo generalizzato, perché le sue gerarchie intrecciate non saranno forse cumulative e nemmeno evidenti."[3]

Anticipazione di quella che verrà definita "ipercittà", per analogia con ipertesto. Il termine ipercittà avrebbe il vantaggio di considerare in primo piano la densità e di non essere in contraddizione con i nuclei antichi, anzi includendo essi stessi come parte dell'ipercittà.

Altro aspetto sono le nuove tecnologie della comunicazione che hanno infranto – o quantomeno reso assai più labile - il concetto di territorio e di prossimità che hanno mantenuto la loro validità nella struttura della città e del territorio per molti secoli. Le abitazioni sono interconnesse tra di loro e si relazionano all'esterno anche se sono chiuse allo spazio pubblico. Si può lavorare, comprare, vendere, produrre e consumare dal proprio domicilio. Le piazze, le strade, i mercati, tutti spazi tradizionali dove si è sempre sviluppata la vita sociale, sono cambiati radicalmente. "Le cinte murarie, sono state sostituite dalle autostrade; gli aeroporti, le stazioni dei treni e dei pullman svolgono il ruolo delle antiche porte di entrata alla città. La città contemporanea incontra serie difficoltà per definirsi e definire i luoghi che le corrispondono, ora non si intende la città tradizionale come il conglomerato abitato da una collettività. E' la decadenza della città come *polis*, come espressione della perdita di influenza della definizione politica a fronte della definizione economica e culturale. Nasce una nuova forma di organizzazione sociale: la città a distanza. Una città che modifica l'organizzazione spaziale nelle sue differenti scale: la casa, la città, il territorio, il paesaggio"[4].

In questo contesto, si ritiene che una diversa conoscenza della città contemporanea e del territorio sia lo sfondo sul quale impostare alcune riflessione sul progetto dei servizi collettivi.

La città contemporanea possiede connotati differenti in ogni parte del mondo; nonostante questo, è possibile riconoscere alcune caratteristiche generali.

Negli ultimi anni la città viene descritta, da una ricca ed interessante letteratura proveniente anche da diverse discipline quali l'antropologia, la sociologia, l'economia urbana o la psicologia ambientale[5] ecc., come frammentaria, eterogenea, discontinua, caotica e quindi "luogo della differenza, della frammistione e della simultaneità: di case e di officine, di uffici e di negozi, di attrezzature pubbliche e private ecc."[6] Quando invece si è cercato di utilizzare delle immagini per rappresentarla attraverso delle analogie, si nota che vengono impiegate figurazioni del puzzle, del domino, dell'ibridazione funzionale e tipologica, della stratificazione di layers che si sovrappongono o si incrociano. La tecnica grafica, per queste immagini, risulta dal montaggio di diverse figure, disegni, fotografie, simboli proprio per rappresentare la situazione dei continui e rapidi cambiamenti che avvengono nella città. Questa situazione strutturale di instabilità genera quindi nuove esigenze localizzative delle grandi funzioni urbane. Il problema, in quali aree della città e del territorio, collocare i servizi per la collettività, dipende da un sistema di valori consolidati nella città del XX secolo. A questo proposito B. Secchi spiega che "da tempo, per indicare che il valore di un bene o di un servizio può dipendere non solo dalla sua rarità o dal suo costo di produzione, quanto dalla sua posizione nella società e nella città, (cioè) dai suoi valori posizionali"[7]. Questi "valori posizionali" si modificano in seguito alle numerose e successive evoluzioni dei trasporti e dei metodi di comunicazione. In una previsione di crescita della mobilità su tutto il territorio si può quindi immaginare una nuova e più diffusa e articolata localizzazione di luoghi centrali: "molte delle grandi attrezzature di servizio, molti uffici pubblici, le biblioteche, parte dell'assistenza sanitaria, dell'istruzione, parti crescenti degli scambi commerciali, tenderanno probabilmente, grazie alle nuove tecniche della comunicazione, a dissolversi nello spazio, … il futuro sarà anche probabilmente segnato da una profonda redistribuzione dello spazio d'uso pubblico"[8].

Proprio in questo contesto, un nuovo disegno delle grandi funzioni come quelle ospedaliere possono svolgere un ruolo decisivo, se non determinante, per il miglioramento del nuovo paesaggio urbano.

Coerentemente con la sempre crescente attenzione data alla mobilità, notevole importanza assumono le cosiddette "infrastrutture della mobilità" che connotano parti sempre più rilevanti di paesaggio. Ma non sono le sole infrastrutture a connotare "il paesaggio della quotidianità".

Sono riscontrabili due principali necessità per la

città contemporanea in base a rinnovati obiettivi economici, istituzionali e culturali che inducono:

- la richiesta, quindi l'incremento, di nuovi e diversificati servizi per la collettività
- una maggiore attenzione al patrimonio naturale, quindi la collocazione di servizi in aree periferiche non urbanizzate distinte da un forte carattere ambientale.

Alla luce del contesto fin qui delineato la ricerca ha indagato sul ruolo e sull'identità del progetto urbano nei suoi aspetti comprensivi le diverse scale di intervento: quella territoriale e della città, quella architettonica e quella tecnologica. In particolare, sulla base del vigoroso dibattito odierno (soprattutto a livello istituzionale) sulla necessità di riconfigurare l'intero sistema sanitario si è colta l'importanza di affrontare i molteplici e complessi problemi di fronte ai quali è posta oggi la progettazione delle strutture ospedaliere. Tale processo soprintende ad una nuova concezione di sistema a rete dei servizi sanitari con la conseguente ridefinizione degli spazi per la salute; la coerente trasformazione funzionale, tipologica e morfologica delle strutture architettoniche; la capacità dell'architettura di adattarsi adeguatamente alle innovazioni architettoniche, tecnologiche, logistiche-gestionali ed organizzative dettate dalle veloci trasformazioni scientifiche e culturali in atto nella medicina.

La tesi che si sostiene è che il sistema sanitario e la progettazione delle strutture ospedaliere, al pari delle altre grandi attrezzature urbane, come stazioni, aeroporti, centri polifunzionali, centri di ricerca, ecc., indispensabili al buon funzionamento della vita collettiva, non sono estranei a questa figurazione anzi, l'importanza degli sviluppi in campo medico, terapeutico e diagnostico innalzano il grado di complessità da affrontare[9].

Allo stato attuale risulta evidente lo "scollamento tra progetto dell'infrastruttura e disegno del paesaggio, tra grandi opere pubbliche e qualità dello spazio urbano, tra l'obiettivo di migliorare globalmente l'accessibilità e il risultato parallelo di definire luoghi poco accessibili e male integrati nella città, tra la volontà di unire punti tra loro distanti e la creazione di cesure e divisioni, rappresenta un dato di fatto che la cultura e il progetto contemporaneo debbono necessariamente affrontare"[10]. Le ragioni della mancata integrazione tra carattere dei luoghi e spazi della salute sono molteplici; tra queste si evidenziano l'applicazione di soluzioni "preconfezionate" di molte realizzazioni del passato e la generica concezione dei luoghi della salute come rigidamente funzionalistici. Nel tempo sono stati proposti ospedali pensati come esclusiva soluzione tecnica avulsa alla forma della città e del territorio, raramente progettati come attrezzatura capace di riqualificare il paesaggio in grado di integrare differenti usi o attività.

L'edificio ospedaliero sembra aver perso il suo originale ruolo pertanto è necessario rinnovare la sua identità, per far questo ci si avvale di una metafora, utilizzata già da tempo per altre grandi attrezzature urbane, dell'ospedale come infrastruttura.

A tal proposito risultano necessarie alcune specificazioni sui problemi del rapporto tra architettura e città assunte allo scopo di focalizzare le riflessioni sul progetto degli ospedali nella città contemporanea.

Ciò richiede la ricerca di nuove possibilità progettuali nella città e nel territorio contemporaneo per costituire il nuovo spazio pubblico.

Sono oggi riconoscibili alcune tendenze principali:

1. nella città contemporanea emergono nuovi spazi collettivi che generalmente non hanno trovato posto entro la città, in ragione della loro necessità funzionale di grandi spazi per il parcheggio e dalla loro cresciuta dimensione, cosicché vengono posizionati in contesti esterni alla città stessa. Ciò è possibile grazie alla mobilità consentita dai mezzi di trasporto (pubblici e privati) che permettono alle attrezzature urbane di occupare luoghi sempre più dispersi nel territorio, immersi nel verde, ma allo stesso tempo facilmente raggiungibili. Un altro aspetto importante è che questi luoghi si connotano come frammenti di città, tentando di riprodurne la complessità. E' l'esempio dei centri commerciali descritto da M. Crawford: "nello spazio pedonale e climatizzato dello shopping mall, organizzato come il centro di una piccola città europea o come la sequenza di passages di una città moderna, con le strade strette fiancheggiate da piccole vetrine, le piazze, il giardino interno, le terrazze, le skyways che congiungono uno shopping mall all'altro con un ambiente a temperatura costante, non c'è solo l'evocazione di un'immagine, ma anche l'attenzione alle prestazioni dello spazio urbano, l'organizzazione di un insieme di attori e di un intero settore di attività"[11]. Quindi, la creazione di comparti urbani caratterizzati dalla presenza di differenti tipologie di servizi, localizzati in adiacenza ai servizi di trasporto pubblico e privato, generano un indotto economico e produttivo importante per il territorio e la città. E' in questo contesto che gli ospedali possano svolgere un ruolo primario costituendo elementi urbani aperti al contesto circostante integrando funzioni tipiche della città con i servizi assistenziali;
2. la presenza nella città di aree industriali dismesse generalmente dislocate a corona della città. La dismissione di luoghi, grandi complessi edilizi o singoli edifici è sempre avvenuto nella

storia. Si pensi ai molti edifici, all'interno della città che una volta dismessi, cambiano la propria destinazione d'uso trasformandosi e aprendosi al pubblico[12]. Il fenomeno a cui tuttavia ci si riferisce riguarda soprattutto la dismissione, a partire degli anni '70, delle grandi aree industriali, scali ferroviari e fabbriche che occupano aree urbane significative, oppure riguardano la dismissione di banchine portuali di servizio ad aree industriali, che in molti casi occultavano i fronti del mare o dei fiumi facendo perdere i propri connotati e i benefici alla città. Così la dismissione degli impianti industriali e il conseguente abbandono delle relative attrezzature e infrastrutture ha prodotto nei territori urbani spazi interstiziali residui e un paesaggio urbano degradato. E' opinione diffusa che una grande struttura di interesse collettivo come l'ospedale sia in grado di svolgere un ruolo determinante per il recupero di interi comparti urbani. Non è un caso che il prototipo ospedaliero presentato dal Ministero della Sanità, nel 2000, con la collaborazione dello studio di Renzo Piano, segua questa linea. Infatti, nonostante il "modello" sia decontestualizzato, ipotizza la riconversione di una grande area industriale abbandonata in una ipotetica periferia urbana.
Condizione, questa, assai frequente nelle nostre città, per mettere in evidenza che l'ospedale è uno di quegli elementi nodali che possono contribuire a rivitalizzare le periferie urbane "dando forma a un'idea di assistenza sanitaria completamente nuova"[13].
3. nuove problematiche legate a nuovi valori ambientali ed ecologici che richiedono un'adeguata programmazione e corrette tecnologie per la realizzazione. Queste esigenze espresse da alcuni movimenti sociali come quelli ecologisti, nati negli ultimi dieci anni, hanno ormai acquisito un ruolo importante nello scenario politico ed economico contemporaneo. "Nasce - sostiene Castells - l'ecologismo come una forma di movimento decentralizzato, multiforme, articolato in rete e omnipresente che tenta di trasformare la società agendo sul ruolo della scienza e della tecnologia, sul controllo dello spazio e del tempo, e sulla costruzione di nuove identità; l'aspetto del locale è quello che interessa e si confronta al globale che è quello che conta. A fronte del globale c'è una ricerca di identità; identità che si superpone alle tradizioni storiche, ai linguaggi ed ai simboli culturali; … una identità che ricerca una relazione con la natura"[14]. Anche in questo caso, la progettazione dello spazio pubblico, dei servizi collettivi in generale e, a maggior ragione, la progettazione degli organismi ospedalieri, è sollecitata a rispondere sia a queste nuove sfide sociali ed economiche, sia a ridurre la contrapposizione tra lo spazio costruito e la natura, cioè tra l'edificio ed il paesaggio, per avvicinarsi ad una relazione più forte.

Dal punto di vista metodologico si è proceduto nella selezione e nell'indagine critica di progetti realizzati o sperimentali che si sono confrontati in modo aggiornato e sapiente con i problemi connotanti la città contemporanea, che sono riusciti a definire le nuove funzioni urbane e i nuovi spazi pubblici e che quindi hanno soddisfatto i principi precedentemente descritti. Nelle parole di Renato Cartesio si è ritenuto di grande importanza come principale regola del metodo "che l'uso e l'esempio ci persuadono di più di ogni conoscenza certa, e che tuttavia il maggior numero degli assensi non è una prova che valga nel caso di verità difficili a scoprirsi"[15].
L'obiettivo posto è pertanto l'individuazione (e una eventuale verifica) di esemplificazioni progettuali corrispondenti ad una struttura aperta al territorio capace di ridisegnare la città ed assumere una nuova identità collettiva.
Partendo da tali presupposti è possibile sostenere che per affrontare i nuovi temi progettuali ci si deve basare su una approfondita conoscenza della storia e sulla trasformazione dei luoghi per la salute ma anche sulla conoscenza della situazione reale e dei fattori di cambiamento indicatori della realtà futura.
Non intendendo sviluppare una trattazione cronologica di dettaglio delle categorie storiche e delle modifiche tipologiche dell'organismo ospedaliero nel tempo, già ampliamente sviluppati in autorevoli pubblicazioni[16], sono stati rilevati alcuni fenomeni significativi, che hanno generato fino ad oggi l'organismo ospedaliero come lo conosciamo, mettendo in evidenza i più significativi dispositivi spaziali che, per certi aspetti, superano il tempo. Il tentativo di selezione di elementi progettuali significativi, viene compiuto tenendo conto dei problemi, dei caratteri della società e della tecnologia del tempo in cui questi edifici vengono costruiti, e quindi interpretati in base alle esigenze attuali che possono essere considerate valide ancora oggi.

Le trasformazioni dello spazio ospedaliero

Vengono esaminati alcuni esempi ritenuti significativi per delineare le tendenze principali di progetto che coinvolgono gli edifici ospedalieri. Nella storia la formazione di diversi modelli tipologici e morfologici si realizza in riferimento alle tecniche, alle tecnologie, ai materiali ed al contesto socio-culturale presenti in ogni epoca "che si esprimono come sintesi dell'esperienza sociale"[17]. Quindi risulta fondamentale capire le modalità attraverso le quali il rapporto tra uomo e il suo ambiente è cambiato e continua a cam-

biare nel tentativo di individuare alcuni dispositivi progettuali per gli ospedali del futuro.
Allo scopo di acquisire strumenti di progetto vengono quindi indagate le principali trasformazioni dello spazio ospedaliero. Ci si propone di ottenere alcuni risultati attuando un'operazione sintetica di riduzione a diagramma di alcuni esempi noti. Il diagramma è in grado di esprimere le caratteristiche principali di un insediamento. Pertanto, gli schemi così ottenuti, che sono elementi astratti, possono essere considerati come dispositivi di configurazioni architettoniche, e riassumono la struttura organizzativa e morfologica che collega i diversi programmi e le diverse attività ad una specifica struttura architettonica.
Questi schemi seguono una linea cronologica per facilitare la lettura delle trasformazioni spaziali, ma si possono effettuare anche letture trasversali che scollegano il fattore tempo e rilevano possibili elementi di contatto, o di rottura, avvenuti in periodi diversi.
Si farà riferimento ad alcuni temi fondamentali che potranno essere selezionati successivamente come indirizzi progettuali. Verranno quindi analizzate, attraverso gli schemi a diagramma le seguenti tematiche:

- rapporto tra città e territorio che consente di comprendere la relazione delle strutture ospedaliere con il contesto in cui sono inserite e le influenze reciproche (tra territorio-città-edificio) che intervengono progressivamente a modificare la concezione di alcuni elementi spaziali
- trasformazione tipologica e morfologica in rapporto alle funzioni ed all'organizzazione degli ospedali che consente di verificare da un lato l'aspetto dimensionale delle strutture e la relazione fra le nuove funzioni dall'altro l'introduzione di nuovi dispositivi spaziali che migliorano la qualità ambientale e l'umanizzazione dei luoghi di cura
- trasformazione delle caratteristiche morfologiche dei complessi ospedalieri nella loro composizione planimetrica e volumetrica.

RAPPORTO TRA CITTÀ E TERRITORIO

Sin dai primi schemi si vede che nell'antichità la scelta del luogo era di fondamentale importanza. Il rapporto che si instaurava tra edifico e contesto doveva essere contraddistinto da un elevato carattere naturalistico volto a favorire la mediazione con le divinità. Gli spazi dedicati alla cura dei malati erano quindi collocati esternamente alla città posizionati accanto al tempio, alla biblioteca, al teatro e ad altre funzioni importanti conformando un vero e proprio parco sanitario. A questo proposito Jacques-Louis Binet intitola le conclusioni del suo libro "Les architectes de la médicine", Retour en Grèce (Ritorno in Grecia) sottolineando che l'avvenire dell'architettura ospedaliera deve partire dal rinnovare lo stato dell'arte del nostro tempo ponendo particolare attenzione alla natura dei luoghi come i templi di Esculapio durante l'Ellenismo[18].
Dall'epoca romana fino al medioevo esisteva un sistema territoriale di xenodochi e successivamente una rete complessa di luoghi in cui si forniva assistenza, i monasteri, posizionati lungo le principali vie di pellegrinaggio.
Nel medioevo lo spazio della città ed analogamente le architetture di interesse sociale, come quelle per l'assistenza e la cura, sono spazi "recintati". Gli edifici adibiti all'assistenza, vivono queste stato di "separazione" rispetto alla città ed all'ambiente nel quale sono collocati riproducendo al loro interno a scala ridotta la città.

Fig. 1: Santuario di Epidauro. Il tempio di Esculapio. La loro collocazione nel territorio era prevista all'esterno agli insediamenti urbani ed erano situati nelle vicinanze di una fonte d'acqua (fiume, mare o fonte termale) e di un bosco ritenuto sacro.

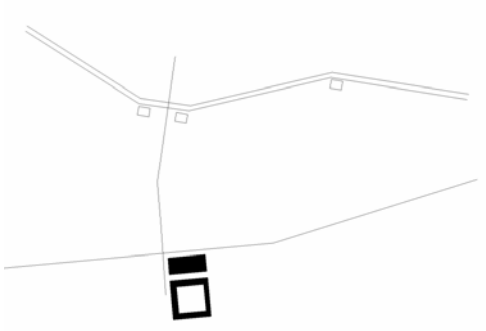


Fig. 2: Sistema territoriale degli xenodochi. Questi presidi costituiscono un sistema di controllo del territorio, per questo sono collocati fuori dalla città. Dal punto di vista morfologico sono organismi articolati in più volumi.

Seguendo le espansioni successive della città gli ospedali vengono di volta in volta collocati all'esterno del conglomerato urbano riproponendo quell'opposizione tra spazio "interno" e spazio "esterno" della città e al corpo architettonico stesso, quasi a sottolineare la diversa natura di questi luoghi.

A questo modello spaziale si sostituisce nel XV e XVI secolo quello della città-stato. I nuovi impianti vengono descritti dai trattati, ad esempio quello del Filerete. L'edificio ospedale diviene una funzione urbana a tutti gli effetti e concentra al suo interno il carattere di città, nel pieno spirito dell'epoca descritto anche dall'Alberti che dice "essere la città come una grande casa e la casa come una piccola città".

A partire dalla seconda metà del XVIII secolo si compie un grande cambiamento culturale e questo determinerà nuovi approcci progettuali degli spazi della città ed in particolare degli edifici ospedalieri.
La città e l'architettura si specializza, viene progettato uno spazio che può diventare uno strumento di conoscenza, di classificazione e di gestione. Si giunge alla concezione della città ottocentesca in cui la separazione delle funzioni ed i nuovi principi di salubrità dei luoghi si concretizzano nella città igienista. A questo punto molti fattori intervengono a trasformare la tipologia ospedaliera, a partire dai grandi progressi della scienza medica parallelamente alle grandi trasformazioni delle città e del suo territorio.
Successivamente, grandi cambiamenti sono avvenuti nella città dagli anni '30 del novecento. Mutano le proporzioni dello spazio aperto e dell'edificato in una progressiva dilatazione dello spazio urbano, le funzioni collettive vengono distribuite nel territorio, tutto ciò richiede una diversa architettura della città.

Attualmente sta cambiando l'approccio del progetto in relazione ai problemi di posizione del nuovo intervento che si pone come elemento nodale di un sistema.
Analogamente a quanto avviene per tutti i sistemi territoriali ed urbani, l'organizzazione dei servizi assistenziali e sanitari si articola in un sistema complesso strutturato secondo un principio reticolare. Il sistema a rete previsto per i diversi livelli di strutture per la salute dovrà sviluppare maggiormente la relazione tra architettura-città-paesaggio tenendo conto di una verifica della sua compatibilità ambientale oramai indispensabile a tutte le scale di intervento (rapporto con il sito ed il territorio circostante, impatto ambientale delle singole strutture).

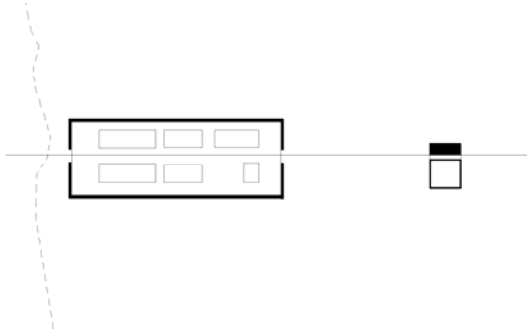


Fig. 3: Pianta di una città lungo il cammino di Santiago di Compostela. L'ospedale è collocato all'esterno della città sulla strada principale.

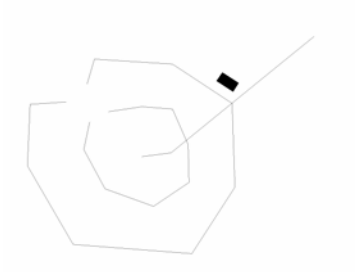


Fig. 4: Milano nel XV secolo. La relazione della città rispetto all'ospedale collocato nel cuore della vita urbana e il lazzaretto collocato fuori dalla cerchia muraria.

Fig. 5: Pianta della città delle saline di Chaux, Ledoux, 1780. Si istituisce una continuità tra città e campagna.

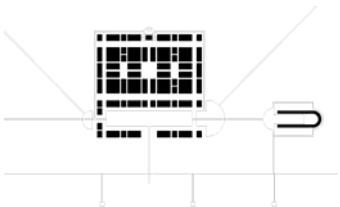


Fig. 6: Pianta della città di Comacchio, L. Bruyere, 1823. Separazione della funzione nella città igienista.

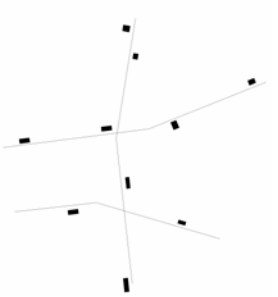


Fig. 7: Attualmente l'organizzazione dei servizi assistenziali e sanitari si articola in un sistema complesso di relazioni strutturato secondo un principio reticolare. L'elemento unificante di questo sistema è il paesaggio.

TRASFORMAZIONE TIPOLOGICA E FUNZIONALE

Le diverse funzioni dell'ospedale influiscono sulla struttura generale dell'ospedale a seconda dell'importanza che progressivamente acquisiscono. Infatti nel tempo le diverse funzioni si sono trasformate subendo notevoli cambiamenti di carattere dimensionale e distributivo.
Si ripropone, come di consueto, che le aree che si trovano all'interno dell'ospedale possano essere suddivise nelle tre categorie principali delle degenze, della diagnosi e cura e dei servizi generali.

Inizialmente, i luoghi deputati all'assistenza sono principalmente i monasteri che rappresentano al loro interno un intero mondo vivibile, gli ammalati e gente di ogni genere viene alloggiata in "aule" tipologicamente simili agli impianti basilicali. In alcuni esempi particolarmente sofisticati del medioevo i blocchi della cucina e del personale, gli spazi che oggi potrebbero corrispondere ai servizi generali, sono staccati dal volume dedicato alle degenze. Non sono previsti spazi per le aree di diagnosi e cura, infatti le azioni mediche venivano praticate direttamente al letto del paziente o nelle corsie. Questa situazione perdura per molti secoli, anche durante il rinascimento, periodo in cui l'ospedale acquisisce una propria identità urbana e sociale e lo spazio ospedaliero si evolve introducendo soluzioni progettuali volte a migliorare la qualità di vita degli ammalati.

Successivamente tra XVI e XVII secolo vengono poste le basi per la trasformazione radicale degli spazi ospedalieri che avranno un apice nel secolo successivo.
Nel XVIII secolo lo spazio ospedaliero va sempre più configurandosi in riferimento al modello della macchina della cultura illuministica. Tuttavia fino agli inizi del '900 la degenza rappresentava quasi la totalità della superficie di un ospedale, una parte limitata era dedicata ai servizi generali e le aree di diagnosi e cura occupavano uno spazio ridotto al minimo.
La velocità del progresso medico scientifico fa si che cambia il ruolo dell'ospedale e che le attività di diagnosi e cura assumano grande importanza. Conseguentemente a ciò, corrisponde l'aumento degli spazi destinati a queste attività che supereranno per estensione sia le zone dei servizi generali sia quelle di degenza.

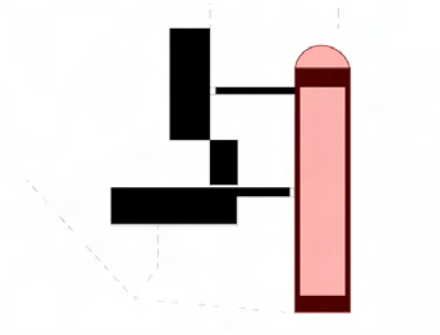


Fig. 8: Hotel-Dieu di Tonnere. XIII sec. Evidenziato in rosso si nota l'impianto basilicale che accoglie i malati, mentre in nero i blocchi di servizio.

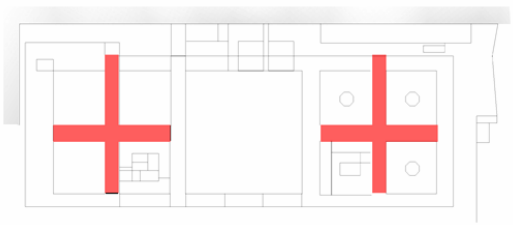


Fig. 9: Ospedale Maggiore di Milano, 1456. L'ospedale diventa una istituzione pubblica. Evidenziato in rosso si nota l'impianto a crociera che accoglie gli ammalati.

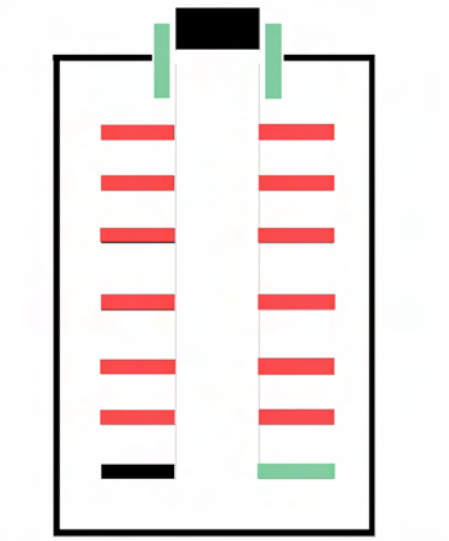


Fig. 10: Ospedale a Padiglioni Paralleli e separati. Si nota in rosso i padiglioni dedicati alle degenze, mentre in verde i padiglioni con le funzioni di diagnosi e cura.

Fig. 11: Ospedale Best Buy, si nota la variazione dimensionale delle zone di diagnosi e cura (di colore verde) che superano per estensione quelle dedicate alle degenze (di colore rosso).

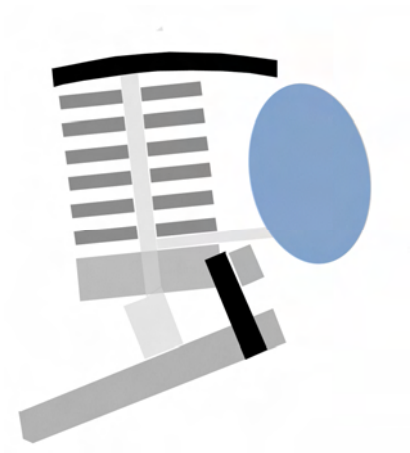


Fig. 12: Ospedale di Barcellona. Si nota di colore azzurro il "padiglione dedicato alla ricerca biomedica, a livello dimensionale negli ospedali tecnologicamente e scientificamente più avanzati questa funzione tende ad eguagliare per estensione ed importanza le tre aree funzionali tradizionali.

A questo punto il discorso dovrebbe essere maggiormente articolato per la complessità delle tematiche da trattare che coinvolgono molteplici argomenti anche di carattere "extradisciplinare" come il contesto sociale, le politiche economiche, la riorganizzazione dell'assetto del sistema sanitario ed altro ancora.
Ciò nonostante per inquadrare la portata della trasformazione tipologica e morfologica dovuta ai cambiamenti delle funzioni delle strutture ospedaliere è sufficiente verificare come negli schemi planivolumetrici più recenti le tre zone funzionali siano ben distinguibili per carattere e dimensione. Infatti l'area di diagnosi e cura diventa la più estesa mentre le degenze tendono a diversificarsi a seconda dei tipi di trattamento terapeutico, invece l'area dei servizi generali tende a diminuire notevolmente in quanto progressivamente scorporate dall'ospedale.
Oggi, parallelamente alla rivoluzione in atto nella medicina dovuta soprattutto all'avanzamento delle tecnologie ed alla scoperta dei codici genetici, gli ospedali maggiormente avanzati si stanno dotando di nuovi spazi e nuove funzioni in cui svolgere attività di ricerca e dove applicare le nuove terapie genomiche.
Quindi, a fianco delle aree "tradizionali" dell'ospedale si evidenziano per importanza, dimensione e collocazione nuovi edifici adibiti a centri di ricerca biomedica. Si ritiene che questi spazi rientrano a pieno nelle funzioni di cui un ospedale, ad alto contenuto tecnologico e volto alle procedure di prevenzione e cura, debba esserne dotato.

Un discorso analogo in merito alla trasformazione degli spazi della salute potrebbe essere affrontato analizzando l'introduzione di nuovi dispositivi spaziali volti a migliorare la qualità ambientale e l'umanizzazione dei luoghi di cura. In particolare si fa riferimento alla ricerca di conferire identità agli spazi d'accoglienza e di collegamento donandogli verosimilmente una configurazione di spazio pubblico, integrato all'intero complesso.
Certamente, la morfologia di un ospedale è definita principalmente dal contesto in cui deve essere inserito ma anche dalla scelta dei sistemi organizzativi e dalle reti distributive che lo caratterizzano. I grandi cambiamenti della sua immagine e del suo ruolo nella città, assieme all'esigenza di una grande qualità dello spazio pubblico, hanno contribuito a "declassare" l'immagine di luogo negativo e a limitare la rigidezza che lo ha caratterizzato nel corso del tempo. Da un altro punto di vista, il disegno di questi spazi ha aggiunto alcuni problemi supplementari nell'organizzazione del progetto generando tipologie complesse.
Lo schema con i blocchi delle degenze sovrapposti alla piastra oppure aggregati in adiacenza alla piastra stessa si è trasformato con declinazioni morfologiche e volumetriche differenti arricchendosi notevolmente dal punto di vista architettonico.
Alcune proposte tendono a privilegiare una composizione volumetrica capace di conciliare la separazione dei blocchi, cercando comunque di restituire all'edificio compattezza, strutturando gli spazi pubblici su di una spina dorsale o su un nucleo centrale che poi si materializza in uno spazio pubblico.

Inizialmente l'ospedale non possedeva uno spazio pubblico in quanto era un luogo di separazione e di esclusione dalla vita collettiva. A livello urbano l'ospedale nel Rinascimento venne riconosciuto come elemento primario della città, lo spazio pubblico si proiettava all'esterno, nel sagrato o nella piazza, mantenendo co-

munque un carattere di introversione delimitando al suo interno le proprie attività.

Successivamente gli edifici ospedalieri, vere e proprie enclavi urbane, erano accessibili, una volta superato il recinto, attraverso viali alberati e giardini.

L'immagine dell'ospedale a padiglioni, che attraverso la dispersione nel verde degli edifici lasciava intravedere una possibile relazione con il contesto esterno era attraversato da viali e strade alberate con giardini accessibili dagli utenti. Questi spazi fungevano solo come aree di separazione tra un edificio e l'altro per migliorare l'aerazione e l'illuminazione secondo i principi dell'epoca. Sicuramente non erano concepiti come veri spazi pubblici anche se in molti casi riproducevano alcune caratteristiche di piazza o giardino presenti nella città.
Dall'ospedale a padiglioni all'ospedale a blocco, gli accessi, i collegamenti, gli spostamenti del personale, il trasporto dei malati e dei materiali vengono concepiti esclusivamente in base a scelte funzionali.
Infatti all'opposto di un approccio progressivo verso l'universo ospedaliero, l'ingresso all'ospedale dell'era funzionalista avveniva direttamente, senza alcuna altra transizione, costituendo così una rottura brutale con la vita esterna. Alla fine degli anni settanta, infatti i programmi degli ospedali consideravano la hall e gli spazi comuni come aree da computare entro le superfici dei percorsi[19]. Nonostante, successivamente, viene incrementata la quantità di superficie necessaria dedicata all'accoglienza e all'attesa, gli spazi per la distribuzione dei pazienti e dei visitatori non erano ancora interamente trattati come luoghi pubblici.
I grandi ospedali di oggi invece funzionano come degli spazi urbani, assai più simili, come concezione, agli ospedali del XIX secolo, caratterizzati da una sequenza di spazi e di luoghi pubblici che filtrano il passaggio dalla città alla vita dell'ospedale. Questi spazi distribuiscono gli spazi più privati, che a loro volta sono collegati da reti di percorsi interni, sono dei veri e propri spazi pubblici dove possono essere svolte differenti attività collettive sia da parte dei pazienti ma anche da parte di utenti occasionali e dal personale. Questo è evidente anche dai nomi che vengono conferiti a questi spazi pubblici: strada coperta, galleria pedonale, giardino d'inverno, parco ospedaliero. L'urbano, o la natura, penetra all'interno dell'ospedale e il ruolo dell'architettura è quello di conferire identità e gerarchia a questi spazi.
Questi luoghi di accoglienza e orientamento assumono grande importanza e vengono oggi integrati nel programma di progetto.

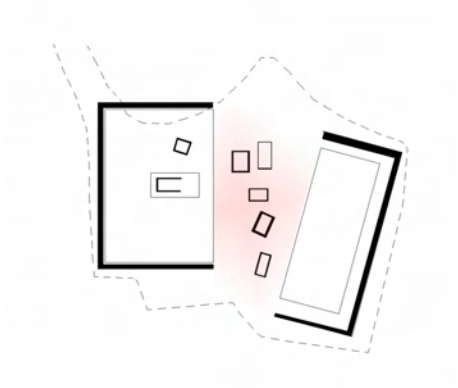


Fig. 13: Isola di Coo. Tempio di Esculapio. La parte centrale evidenziata in rosso, determinata dagli edifici che accolgono i malati è uno spazio pubblico, al suo interno si svolgono funzioni non assistenziali.

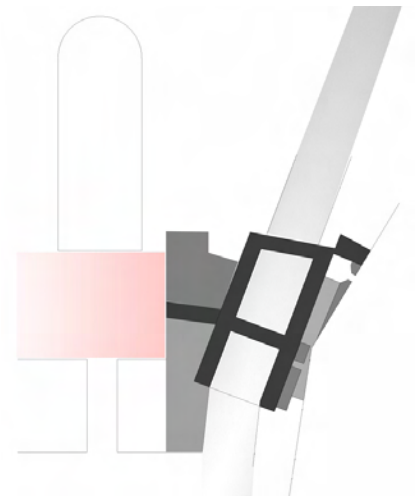


Fig. 14: Hotel-Dieu di Parigi. L'ospedale nella città. Nel Rinascimento, l'ospedale entra in relazione con gli edifici più importanti della città generando al suo esterno degli spazi pubblici, la piazza.

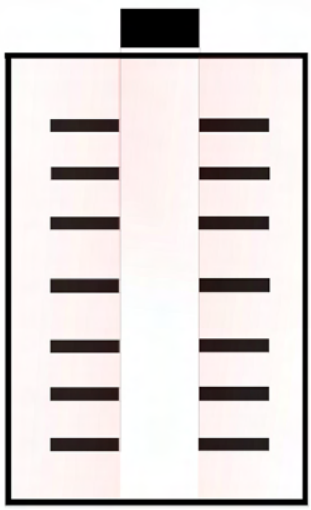


Fig. 15: Ospedale a Padiglioni Paralleli separati. Lo spazio tra i padiglioni viene progettato con caratteristiche di giardini o piccole piazze.

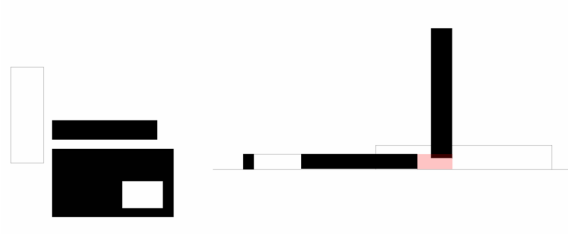


Fig. 16: Ospedale tipologia piastra-torre. Lo spazio pubblico si riduce e gli spazi comuni diventano esclusivamente elementi a carattere funzionale distributivo.

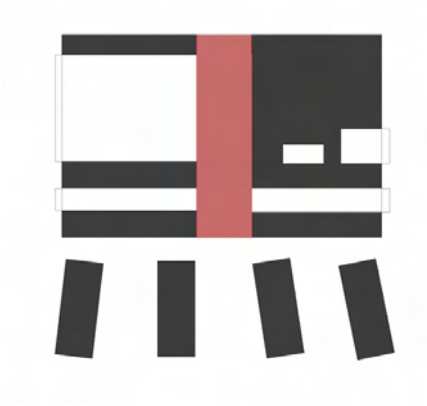


Fig. 17a: Ospedale distrettuale di Meissen, Germania, 1998. Woerner+Partner

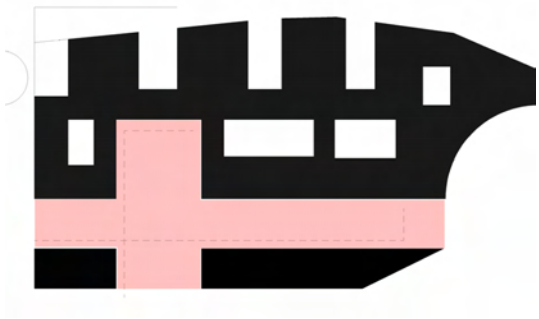


Fig. 17b: Ospedale Gorge Pompidou, Parigi, A. Zublena, 2000. Attualmente l'ospedale si struttura attorno a grandi dispositivi spaziali che assumono il carattere di spazi pubblici di accoglienza e distribuzione ma anche accogliendo attività extra ospedaliere.

TRASFORMAZIONE DELLE CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE

Sempre attraverso la riduzione a diagramma di alcuni esempi analizzati si tenta ora di evidenziare le caratteristiche principali dei complessi ospedalieri nella loro composizione planimetrica e volumetrica.
Questo confronto viene attuato per mettere in evidenza la trasformazione dello spazio ospedaliero e per valutare anche possibili analogie (o diversità) alcune delle quali se interpretate in modo attuale sembrano dare informazioni valide per un progetto contemporaneo. Nonostante questa lettura potrebbe risultare da un lato una forte semplificazione della complessità evolutiva dei complessi ospedalieri e dall'altro articolata cronologicamente in modo tradizionale, si ritiene comunque che rappresenti uno strumento interpretativo assai importante per cogliere immediatamente i passaggi fondamentali di trasformazione delle architetture ospedaliere che corrispondono anche ai momenti di rifondazione dei sistemi assistenziali delle varie epoche e quindi ai momenti di cambiamento rispetto al passato.
Inizialmente contraddistinto da una struttura chiusa ed introversa si assiste al passaggio a schemi aperti completamente destrutturati. Si nota anche la progressiva complessificazione degli strati che compongono l'intero complesso e la continua messa punto di stati di equilibrio tra morfologia, tipologia e funzionamento dell'ospedale. Sempre di più i progetti sono connotati da una elevata leggibilità della planimetria generale. Si comprende fin dal primo sguardo sia la collocazione dei differenti nuclei funzionali dell'ospedale, ripartiti entro l'intero complesso in edifici separati e distinti, sia i loro collegamenti e gli accessi. Questa articolazione organizzativa si basa sulla gerarchizzazione dei settori e su una distribuzione prevalentemente orizzontale dei percorsi. Questo rievoca, anche se in modo lontano, i principi dell'ospedale a padiglione che aveva una delle sue ragioni principali nell'aerazione e nella ventilazione come elemento terapeutico. La specificità di questa funzione risiede tuttavia nel tentativo di operare una complessa operazione, cioè quello di integrare una certa compattezza dell'intero organismo edilizio, necessaria per un funzionamento efficace dei settori attraverso i rispettivi collegamenti. Negli ultimi anni, come per tutte le altre tipologie edilizie, anche per gli ospedali vengono proposti e adottati schemi ibridi, cioè in grado di contenere variazioni complesse. Due sono le principali strategie progettuali. Alcune proposte tendono a privilegiare una composizione volumetrica capace di conciliare la separazione dei blocchi, cercando comunque di restituire all'edificio compattezza, strutturando gli spazi pubblici su di una spina dorsale o su un nucleo centrale. Altre proposte prevedono invece soluzioni più compatte che si presentano come piattaforme che attraverso la stratificazione dei piani e l'utilizzo di patii e aperture consentono di portare luce naturale anche in corpi di fabbrica molto profondi, interiorizzando ogni programma e ogni variazione. Sempre di più risulta che non esiste un modello ospedaliero ripetibile ma si deve dare risposta a due nodi concettuali ed operativi, da un lato l'aspetto ur-

bano a tutti i livelli della struttura ospedaliera dall'altro la sua totale integrazione con l'ambiente in cui viene inserito.
Quello che emerge da questi schemi per il progetto è che si deve elaborare una forma che risponde alla ricerca di un punto di equilibrio, come osserva Thierry Hoët: "L'obbiettivo è quello di ritrovare un punto di equilibrio tra un ospedale contraddistinto da una separazione eccessiva e l'ospedale contraddistinto da un eccessiva compattezza o verticalità. Entro questi due estremi esiste una realtà pragmatica"[20].

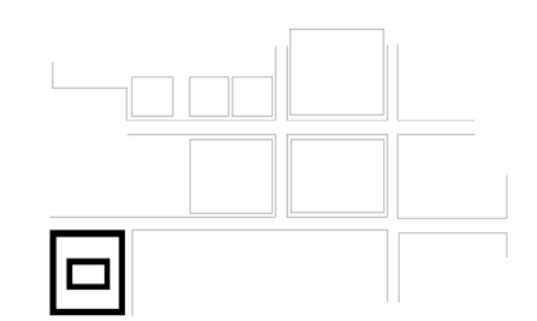


Fig. 18: Castrum di Vetera, Valetudinaria I sec. L'ospedale degli accampamenti romani definiscono un recinto che isola i feriti e malati dal mondo esterno conformando perciò uno spazio introverso.

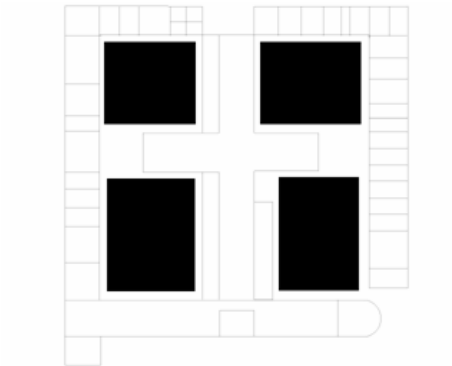


Fig. 19: Ospedale San Matteo di Pavia, 1449. La tipologia a crociera definisce un recinto chiuso in cui si svolgono le attività assistenza.

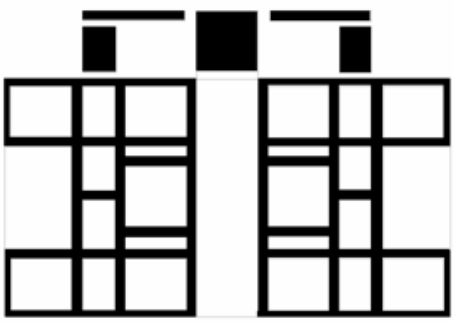


Fig. 20: Ospedale progettato dall'Accademia di Scienze di Parigi. Si evidenzia il passaggio dal recinto alla complessa macchina ospedaliera.

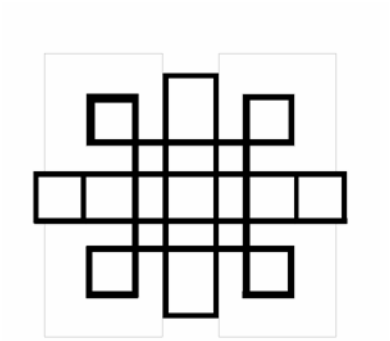


Fig. 21: Progetto per l'ospedale di Parma del 1766, S. Cantoni. La struttura tipologica è ancora a croce, ma i volumi tendono a separarsi aprendosi verso l'esterno inglobando i giardini nell'edificio.

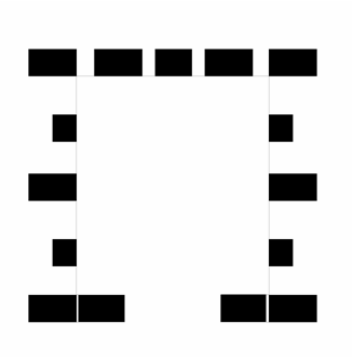


Fig. 22: Royal Naval Hospital di Playmouth, 1756. L'ospedale si specializza, le malattie vengono classificate e l'ospedale si configura come una serie di padiglioni separati che connotano spazi aperti.

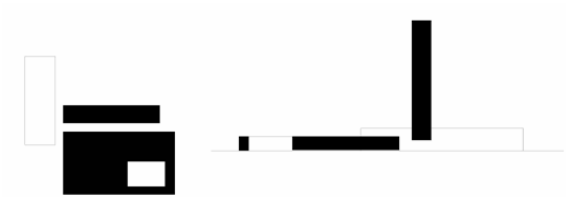


Fig. 23: P. Nelson, ospedale di St. Lo, 1946 tipologia piastra-torre. L'ospedale si sviluppa in altezza.

Fig. 24: Progetto per l'ospedale di Venezia di Le Corbusier, 1965. L'ospedale viene generato a partire dal rapporto con la città.

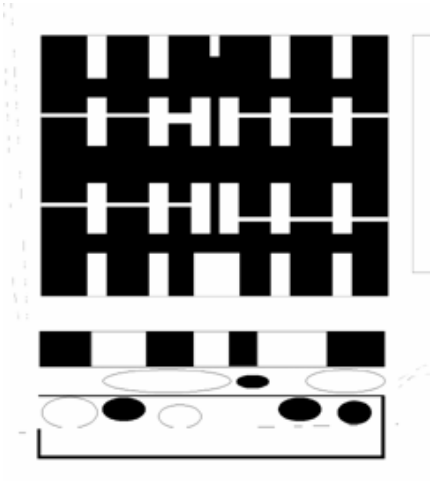


Fig. 25a: Ospedale Generale Katta, Shiroishi, Giappone, T. Ashihara, K. Kitayama, H. Horiike

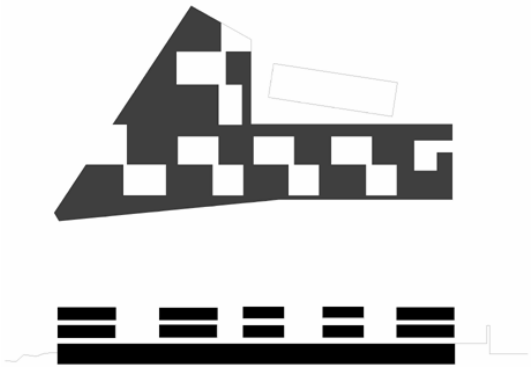


Fig. 25b: Progetto di Clinica Materno Infantile di Spalato, Croazia, 2002.Nijric+Nijric. Attualmente in alcune realizzazioni recenti l'ospedale è una piattaforma che condensa al suo interno tutte le funzioni e caratterizza gli spazi come un sistema urbano.

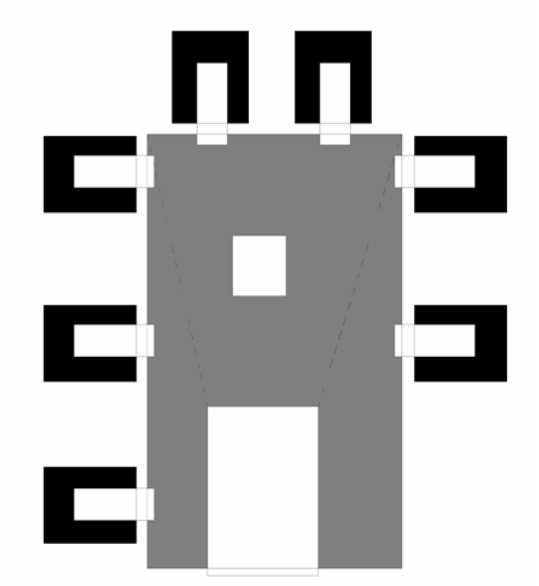


Fig. 26a: Progetto per il Nuovo Ospedale di Bergamo, 2002. Gruppo di progettazione SCAU s.a. - A. Zublena

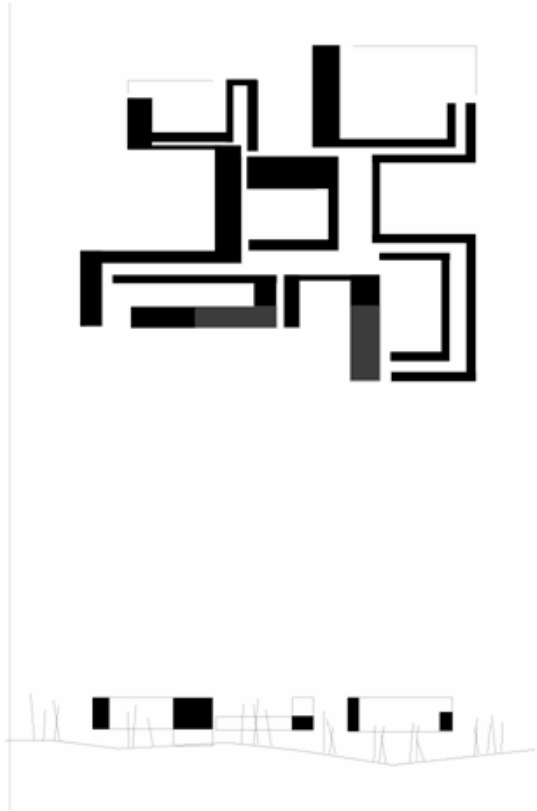


Fig. 26b: Progetto per il Nuovo Ospedale di Kortrijk,Belgio. Baumschlager & EberleItten + Brechbuel AG:

Attualmente alcuni progetti tendono a privilegiare una composizione volumetrica articolata con blocchi separati cercando comunque di restituire all'edificio compattezza.

Dispositivi spaziali e paesaggio

A partire dalla convinzione che non esista un modello prestabilito da poter ripetere indistintamente, possono essere individuati alcuni processi progettuali possibili che conducono a risultati differenti ma che possiedono principi di base comuni.
Numerosi progetti di edifici ospedalieri degli ultimi anni, presentano come caratteristica principale uno sviluppo sostanzialmente orizzontale. Non significa ovviamente una rinuncia alla verticalità ma sicuramente, dove possibile, un ridimensionamento delle altezze favorendo una composizione volumetrica maggiormente articolata. Si possono individuare inoltre alcuni elementi architettonici comuni, nonostante i singoli progetti utilizzino linguaggi e tecniche compositive assai differenti. Quello che risulta importante evidenziare è il persistere di una strategia progettuale ed un effetto architettonico riconoscibile. E' quindi possibile individuare alcuni principi generali che, assunti nel progetto come una serie di obbiettivi architettonici, caratterizzano questi edifici:

- relazione con il sito che permette ai flussi della città di attraversare il progetto
- sviluppo volumetrico tendente a privilegiare l'orizzontalità, quindi sezioni contenute, composizione volumetrica articolata (densità volumetrica)
- utilizzo di rampe e spazi vuoti a doppia altezza che permettono insieme all'articolazione dei volumi di creare dei "giochi" di ripetizione e variazione degli spazi
- utilizzo della copertura come spazio aperto e spesso utilizzabile

tentativo continuo di incorporare il fattore tempo come "variabile attiva" che informa il progetto.
Già a partire da alcune ricerche architettoniche, come quelle del Team X ed Alison e Peter Smithson presentate ai CIAM[21] degli anni '50 e da progetti emblematici degli anni '60 (il primo è il progetto per l'ospedale di Venezia di Le Corbusier), vengono sperimentate soluzioni progettuali che adottano queste strategie organizzative e spaziali. In una importante ricerca elaborata a metà degli anni '70 gli Smithson[22] predispongono un catalogo di esempi, in cui venivano presentati sia progetti urbanistici che architettonici, che rispondevano a principi simili a quelli precedentemente descritti. Questo catalogo era strutturato in modo tale che potesse essere continuamente implementato da nuovi esempi che assumevano con libertà, ma allo stesso tempo che fossero riconoscibili, tali principi progettuali - nonostante questi edifici rispondessero ognuno a funzioni ed esigenze differenti.
Sembra oggi emergere un rinnovato interesse dei progettisti nel disegno impianti architettonici che hanno come risultato questi obbiettivi, pur assumendo significati e caratteristiche architettoniche rinnovate rispetto a quelle di 30 anni fa[23] Una delle motivazioni per cui la ricerca degli Smithson risulta ancora oggi attuale e assume nuovo interesse[24] è dovuto al fatto di aver evitato qualsiasi valutazione su "stili" architettonici. L'enfasi è posta insistentemente sugli aspetti organizzativi degli edifici, che pur essendo dissimili, possono essere raggruppati proprio sulla base di strategie comuni (evitando di ridurre la catalogazione ad una mera categoria descrittiva). In un'analisi più approfondita che supera la semplice valutazione dell'estensione morfologica orizzontale, è possibile riconoscere che questi edifici rispettano alcuni elementi spaziali significativi.
Si individuano alcune similitudini nel modo in cui le parti dell'edifico si relazionano reciprocamente e nel carattere che gli spazi vuoti assumono nella composizione volumetrica che definiscono.

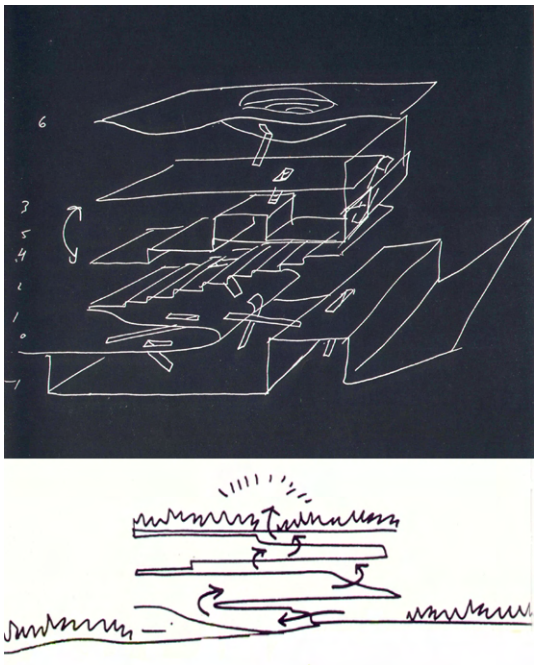


Fig. 27: MVRDV, Centro di telecomunicazioni a Hilversum, Olanda, 1997. Schizzi di studio sulla stratificazione dei piani e sulla continuità degli spazi con i collegamenti verticali.

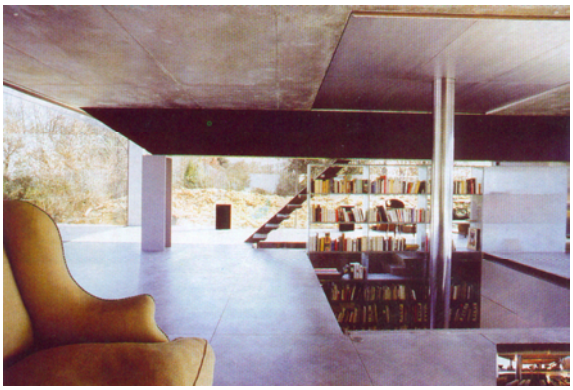


Fig. 28: Rem Koolhaas, Villa a Bordeaux, Francia, 1998. Vista della piattaforma/ascensore che collega i tre livelli della casa connotando lo spazio in modo differente a seconda delle necessità degli utenti.

A livello distributivo si evidenzia una interconnettività degli spazi interni in cui gli spazi comuni di collegamento assumono un ruolo assai importante, morfologicamente e tipologicamente, come di nodi di connessione delle parti.
I movimenti, le transizioni e i flussi che si creano nella conformazione generale dell'edificio, non sono meramente dei legami neutrali tra questi nodi predefiniti, ma sono i nodi e gli elementi di connessione stessi che nell'insieme generano continui spazi interni differenti.
Si presentano come strutture aperte, la loro forma è governata più dalle connessioni interne delle parti e dalla relazione che generano con il contesto che da "alcuna forma geometrica generica".

Fig. 29: Studio FOA, Terminal del porto di Yokohama, Giappone, 1996-2000. Quella che avrebbe potuto essere una semplice infrastruttura (una banchina per l'attracco di navi da crociera) si trasforma in una piattaforma che prolunga il piano della città verso l'acqua condensando al suo interno numerosi funzioni creando così un nuovo paesaggio.

Infatti non possono essere visti come edifici isolati come un oggetto (figura sfondo), ma proprio quello che risulta interessante è che questi edifici hanno un ruolo attivo nel contesto e producono nuovi campi urbani e nuovi paesaggi. Un elemento importante nel progetto di questi edifici è la particolare attenzione che si deve porre nel progettare gli spazi aperti prodotti dalla conformazione stessa dell'edificio[25].
Tipologicamente possono essere definiti come delle piattaforme supportata da edifici "satellite" che condensano e rielaborano all'interno spazi che rappresentano modelli urbani, costituendo una trama di continuità tra interno ed esterno. Si generano degli "spazi interstiziali" che diventano parte attiva e che entrano in dialogo con l'intera struttura architettonica. Proprio questo sistema caratterizzato da relazioni spaziali tra le parti può determinare luoghi di alta qualità ambientale. Per questo uno dei compiti principali del progettista è quello di dare identità e nome a questi spazi. ("Se non c'è ordine, non c'è identità ma solo il caos di disparati elementi in superflua competizione"[26]).
Si propone una strategia basata sulla sistematica organizzazione delle parti in funzione di una intelaiatura generale; il ruolo del progettista è quindi quello di progettare il sistema di base ("l'infrastruttura"[27] su cui si svilupperà l'intero sistema). E' evidente l'analogia con la città, considerata come il prodotto di molte stratificazione successive generate in un periodo esteso di tempo; ciò determina l'impossibilità del progettista di controllare e prevedere tutto. Questo è proprio il tentativo di includere il fattore tempo nel progetto. ("La comprensione deve venire dalla percezione delle parti, come se il sistema non può essere mai visto finito … Il sistema avrà più delle usuali tre dimensioni. Verrà incluso il tempo come dimensione"[28]).

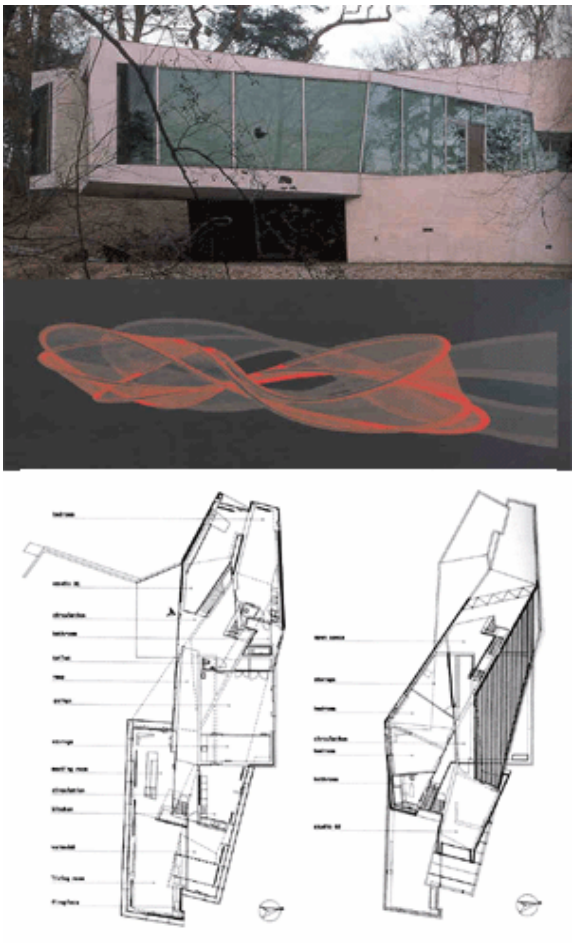


Fig. 30: Ben Van Berkel, Casa Mobius, Het Gooi, Olanda, 1998. Il progetto di questa casa tenta di rappresentare la possibilità di governare le attività che si svolgono nell'arco della giornata (fattore tempo) in uno spazio.

Dal punto di vista rappresentativo e funzionale, questi edifici sicuramente non hanno un carattere monumentale ma al contrario tendono ad assicurare eterogeneità degli spazi e un immagine comune che avvicina i potenziali utenti dello spazio. In questi edifici è possibile creare spazi dove una gamma di possibili eventi possono prendere luogo, infatti il loro ruolo non è quello di articolare o rappresentare specifiche funzioni, ma generare spazi che possono as-

sumere differenti configurazioni in base alla necessità del momento. Sono le funzioni e gli eventi che configurano lo spazio, la struttura architettonica rimane invece relativamente neutrale e si adegua nel tempo.
Questa breve descrizione si collega, in parte, al contesto in cui le recenti tendenze dell'architettura rivolgono "sempre più forte attenzione verso la concretezza del paesaggio. Possiamo, anzi, prevedere che il termine Landscape, così come sta avvenendo in altre parti d'Europa, diventerà una chiave per spiegare parte - se non buona parte - della prossima ricerca progettuale.
La parola, infatti, unisce tre linee di azione, sinora indagate con strumenti diversi: verso l'urbanistica, verso l'edificio, verso l'ecologia. (…) Permette, quindi, di realizzare oggetti edilizi senza disperderli nello spazio informe dell'urbanistica e dello zoning funzionalista; di fare una certa pianificazione del territorio senza perdersi nella singolarità dell'oggetto architettonico; di affrontare il tema dell'ambiente senza cadere nel trabocchetto della salvaguardia del verde a qualunque costo. E permette, nello stesso tempo, di orientare la ricerca elettronica (il digitale dei flussi e degli immateriali) verso la costituzione di un paesaggio, non virtuale ma non necessariamente naturale, all'interno del quale concretamente vivere"[29]. Interpretare questi fenomeni può essere utile per dare delle indicazioni sulle potenziali ricadute progettuali di questo tipo di sistemi.
Si richiedono continui spostamenti di scala, da una visione urbanistica ad una più architettonica ponendo l'attenzione sulla logica organizzativa. Appare una nuova organizzazione principale basata su schemi definiti ad "albero" o a "grappolo". Si fa quindi riferimento essenzialmente ad una configurazione morfologica che implica una gerarchia di spazi, di sistemi di percorsi e flussi di movimenti. Questo tende a configurare uno sviluppo orizzontale in una logica di dispersione della densità. Si riconosce quindi l'importanza che assume l'infrastruttura nella configurazione generale dell'organismo architettonico come nella città contemporanea le infrastrutture hanno influenzato lo sviluppo delle città.
Nella progettazione quindi, il paesaggio emerge come modello di riferimento. Il paesaggio è stato tradizionalmente definito come "l'arte di organizzazione delle superfici orizzontali"[30].
Queste affermazioni/definizioni provenienti principalmente dalla scuola americana[31] e presenti in alcuni articoli di Stan Allen, indicano due nuove tendenze riscontrabili:

- da un lato una più ampia visione della progettazione urbana della città contemporanea inserita in un più esteso campo d'azione
- dall'altro un'emergente interesse sulla progettazione dei piani e delle superfici (superfici topologiche) invece di una visione dell'architettura come progetto delle masse e dei volumi.

Ma, avverte Stan Allen, il progetto delle superfici è molto più articolato "rispetto alle astratte superfici che proliferano correntemente nel progetto architettonico contemporaneo.

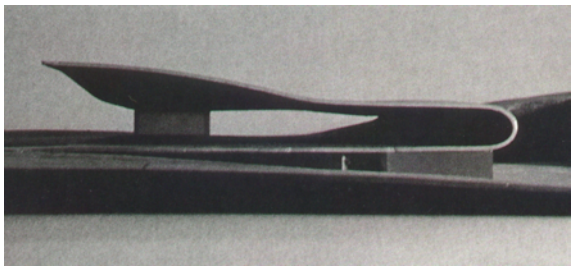


Fig. 31: MVRDV, 1997. Modello di studio che rappresenta il tentativo di creare degli spazi attraverso l'uso di superfici.

Fig. 32: Steven Holl, modello di studio per il Museo della città di Cassino, 2000. Questi studi vengono utilizzati per comprendere la variabilità della luce nello spazio a fini progettuali, allo scopo di sfruttare la migliore illuminazione dell'ambiente, in questo caso di una sala museale.

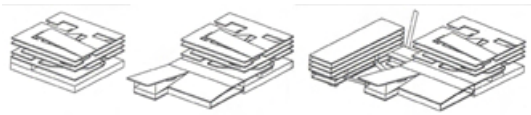


Fig. 33: MVRDV, Centro di telecomunicazioni e radiodiffusione a Hilversum, Olanda, 1997. Assonometrie di studio sulla possibilità dell'edificio di ampliarsi e ridefinirsi senza perdere la sua connotazione iniziale.

Queste superfici piegate e deformate, generalmente create a computer, sono sottili e immateriali – effimere elaborazioni di dati"[32].
Infatti nonostante si assista a grandi sviluppi delle scienze informatiche che consentono di mettere a fuoco innovativi "processi dinamici" per l'architettura, sono soprattutto le grandi funzioni collettive, che richiamano l'architettura stessa (ed i progettisti), a misurarsi con la co-

struzione di una forma statica. In riferimento ai due punti precedenti è possibile ora individuare quali sono gli elementi che alle diverse scale, quella urbana e quella architettonica, intervengono nella procedura progettuale:
1. è importante sottolineare che il riferimento al paesaggio nella progettazione urbanistica non è solo da considerare un modello formale, ma va valutato come un modello di processo. In questo processo il fattore tempo diventa una variabile fondamentale per la programmazione e pianificazione urbana. Infatti questo approccio implica che la pianificazione e progettazione del paesaggio urbano non possa essere progettata e controllata come una totalità; possono essere previsti degli scenari proiettati nel futuro e che consentono la crescita e lo sviluppo nel tempo del sistema programmato. Riferendosi ancora all'analogia con la città in cui la storia deposita "livelli" successivi che intervengono a creare densità e variazioni, un sistema progettato tenendo conto del fattore tempo è un prodotto aperto ai cambiamenti in grado di accumulare variazioni a lungo termine.
2. la progettazione di organismi architettonici attraverso la giustapposizione dei piani e le loro reciproche interdipendenze, comporta nella maggior parte dei casi uno sviluppo orizzontale degli stessi. Analizzando l'edificio in una visione unitaria la sua estensione orizzontale è la dimensione che si percepisce come primaria. Una analisi più ravvicinata consente di leggere una significativa differenza in sezione. La sezione quindi non è il prodotto della semplice sovrapposizione di diversi piani come in una convenzionale sezione di un edificio, poiché attraverso la deformazione dei piani stessi, la presenza di spazi vuoti a doppia altezza, collegamenti verticali, l'utilizzo della copertura e l'articolazione dei volumi prodotta da piccoli sfalsamenti dei piani si genera una struttura complessa all'interno di una predominante organizzazione orizzontale.
Il tentativo operato da alcuni progettisti, espresso in architetture recenti, è quello di "dominare" nel progetto i repentini cambiamenti esigenziali degli utenti. L'architettura dovrebbe rispondere a queste nuove esigenze che in parte si verificano da nuovi modelli di vita sociale.
Tali cambiamenti avvengono, come precedentemente accennato, per la natura stessa della città, considerato come un organismo sempre in evoluzione. Nella città infatti, dinamiche sociali, economiche e politiche impreviste interagiscono con le infrastrutture permanenti e creano effetti urbani prima non considerati. Ovviamente risulta difficile applicare "letteralmente" questo concetto ad un singolo organismo architettonico ma è possibile adottare questa nozione di cambiamento e crescita alla programmazione di un progetto presupponendo come effetto di avere un'architettura capace di adattarsi alle situazioni emergenti dell'evoluzione urbana ed alle rinnovate esigenze d'uso degli spazi e delle funzioni. E' possibile immaginare uno scenario in cui esiste un supporto (infrastruttura edilizia) costituito da una texture, una griglia, un reticolo finito sul quale si dispongono una serie di piani di servizi, costruzioni, trasporti specializzati, attività speciali; tali superfici metteranno nelle condizioni il reticolo base di garantire la massima flessibilità e di ammortizzare le possibili trasformazioni spaziali, tecnologiche, impiantistiche e organizzative principali. Si elencano di seguitoi, alcune caratteristiche morfologiche che connotano questi edifici:
a) - strutture in grado di assorbire (o comunque rispondere) alle costanti evoluzioni esigenziali degli utenti e degli operatori (analogia con la città);

b) - percezione dell'edificio come organismo che può essere continuamente aggiornato nelle sue singole parti;

c) - articolazione ed organizzazione delle parti e loro connessione reciproca;

d) - composizione dei piani ed articolazione volumetrica attraverso l'aggregazione di elementi autonomi (strutturalmente ed impiantisticamente) che consento addizioni e sottrazioni a seconda delle necessità;

e) - definizione dei sistemi partendo dal più rigido e quindi da considerare elemento stabile e di lunga durata; secondariamente predisporre un sistema intermedio adattabile a medio termine e quindi da intendere come sistema aperto a possibili variazioni; infine un sistema leggero capace di variare nel tempo senza implicazioni strutturali notevoli.

Una proposta di strategia progettuale

Gli edifici ospedalieri, oltre ad essere luoghi di prevenzione, cura, di accoglienza, di informazione e ricerca, sono diventati delle attrezzature urbane integrate con la città e con l'ambiente circostante.
La loro programmazione e organizzazione deve riflettere, verso l'esterno dell'ospedale stesso ma anche verso il suo interno, tutte le principali esigenze precedentemente individuate.
Queste dovrebbero essere tradotte attraverso un lavoro di gerarchizzazione degli spazi, di differenziazione dei livelli di relazioni fra i settori e dei loro accessi e di integrazione tra i sistemi che compongono l'intero complesso .
Gli edifici ospedalieri hanno dovuto, quindi, ridefinire il loro ruolo di infrastruttura urbana.

Questa necessità è emersa negli anni settanta, epoca durante la quale il fallimento di alcuni sistemi di organizzazione dello spazio urbano e delle sue funzioni diventa assai evidente, ma soprattutto, nella quale si riconobbero gli effetti negativi del frazionamento della città definita "moderna", facendosi al contrario strada l'idea essenziale che tra la città e le sue architetture deve essere progettato un legame fondamentale, costituito dallo spazio pubblico.

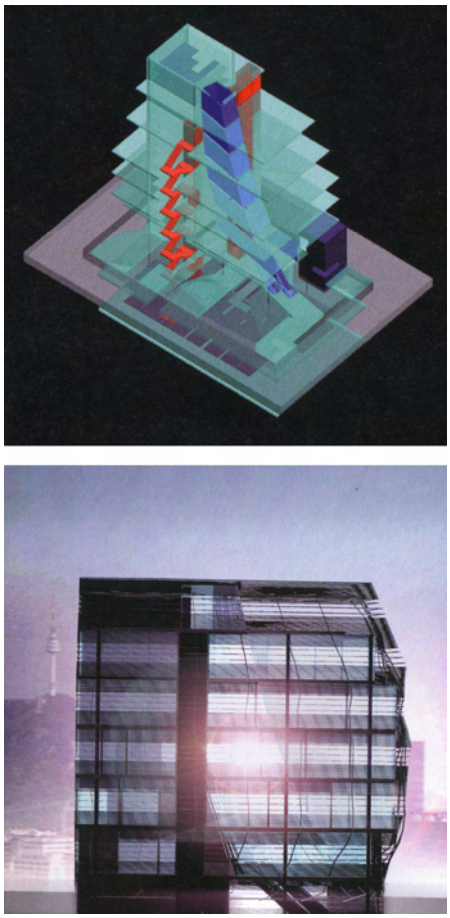


Fig. 34: Studio Ocean, progetto di un ospedale femminile in Sud Corea, 1996. Studi elaborati al computer.

Si ritiene che la concezione degli ospedali dovrebbe ripartire allora su rinnovate basi: infatti l'aspetto di prossimità dei diversi settori dell'ospedale, la rapidità di circolazione, la redditività estrema dello spazio medicalizzato, pur rimanendo obbiettivi importanti per la progettazione, si trasformano, venendo posta più attenzione all'intervento nella sua complessità e la sua relazione nell'ambito in cui viene collocato, alla qualità dell'accoglienza dei suoi utenti e delle condizioni di lavoro dei suoi dipendenti.
Il progresso scientifico nel campo medico, architettonico e tecnologico sposta (e in alcuni casi elimina) alcune delle costrizioni funzionali, tecniche ed economiche che guidavano i progetti ospedalieri in passato. Ciò si coniuga con la volontà di conferire una maggiore integrazione di queste strutture all'ambiente circostante dando luogo alla concezione di nuovi approcci progettuali, a nuove architetture che tendono a trasformare completamente l'immagine contemporanea dell'ospedale.

Sicuramente è noto come il processo progettuale nella sua complessità vive oggi una fase di transizione e cambiamento che crea motivi di incertezza.
Nel tentativo di collocare consapevolmente una strategia di progetto in una realtà così mutevole si ritiene importante all'inizio definire lo scenario generale entro il quale si potrebbe generare una ipotesi di studio. Per questo si tenderà a richiamare metodologicamente alcuni elementi di carattere interdisciplinare[33] nei confronti del campo progettuale, ritenuti importanti allo scopo di attualizzare la proposta.

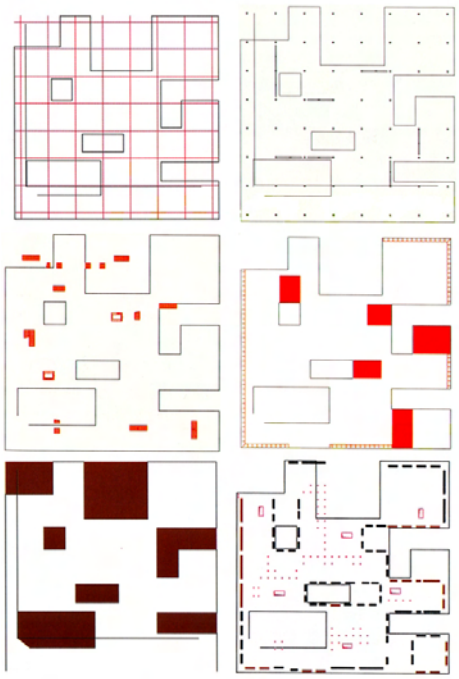


Fig. 35: Ipotesi di griglia modulare sulla quale si sovrappongono differenti piani, viene definito un piano omogeneo che può contenere una serie di variazione di elementi speciali caratterizzanti lo spazio.

Alcune tematiche analizzate che contribuiscono a comprendere come tende a modificarsi la programmazione delle strutture assistenziali sono:

- il sistema città-territorio, che rappresenta lo scenario dei fenomeni che stanno modificando il concetto contemporaneo di città e territorio rispetto ai mezzi di comunicazione e di informatizzazione (le tecnologie) che stanno generando

nuovi spazi nel contesto di una "società rete"
- la società e il sistema, che permette di delineare il nuovo sistema di relazioni sociali, culturali ed economiche anche rispetto alla salute
- i scenari progettuali del sistema che raffigurano come tutte le attività organizzate tendono a pianificarsi e regolarsi sulla base di un nuovo sistema reticolare e quindi anche il sistema sanitario e la progettazione delle strutture ospedaliere tendono a questa figurazione
- i livelli organizzativi e quindi istituzionali della rete assistenziale quindi l'assetto delle strutture ed il contesto
- le proposte nazionali ed internazionali che rappresentano in tutto o in parte alcune di questi fenomeni.

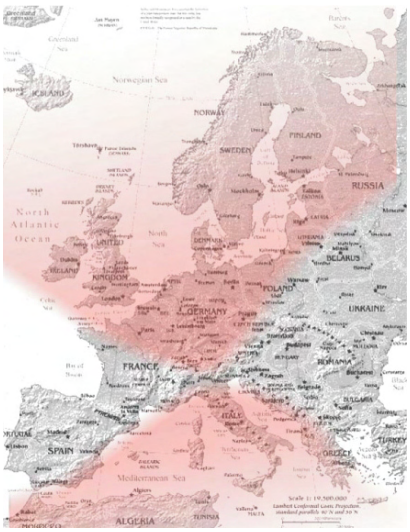


Fig. 36: L'ipotesi per il progetto di un ospedale ad alto contenuto tecnologico e assistenziale che mira all'eccellenza, si colloca strategicamente a livello operativo in un contesto molto ampio di livello continentale.

Sulla base di questi elementi, è possibile ritenere che per formulare una proposta schematica che richiami comunque a caratteristiche morfologiche, formali, tipologiche ed organizzative, specializzate ad un complesso ospedaliero, si debba prendere in considerazione queste innovazioni e trasformazioni del contesto generale.
Prima di tutto si deve fare riferimento ad alcuni mutamenti che interessano l'intera società (e il sapere), che tende ad "organizzarsi in un nuovo modo"[34] basato su un sistema dinamico e complesso in continua evoluzione con elementi che si intersecano e generano nuove relazioni. Si crea quindi un sistema di tipo reticolare in cui i nodi della rete assumono caratteristiche e funzioni differenti a seconda del livello che occupano.

Fig. 37: L'organizzazione dei servizi assistenziali e sanitari, al pari di tutte le grande funzioni pubbliche, si articola in sistema strutturato secondo il principio di rete. Quindi l'ospedale occuperà il livello opportuno del sistema e si relazionerà con tutti gli altri nodi a favore di una migliore erogazione del servizio globale.

Fig. 38: Per agevolare l'accesso a queste grandi funzioni collettive e la connessione con gli altri poli l'ospedale sarà supportato dalla rete dei trasporti a creare interazioni reciproche.

Il passaggio di questa concezione nel campo dell'architettura si materializza attraverso un nuovo atteggiamento metodologico che percepisce l'ambiente urbano e territoriale coinvolto da un nuovo sistema di valori posizionali. Questi valori posizionali modificano il rapporto tra nuovi insediamenti e l'ambiente e tendono a regolare le relazioni di molte delle grandi attrezzature di servizio ed il loro funzionamento ed organizzazione. Si fa riferimento a quelle tematiche orientate ad una nuova visione della città e del territorio in cui le città stesse sono collegate in rete e diventano luoghi in cui l'organizzazione e delle grandi funzioni collettive dei trasporti e delle telecomunicazioni determina la concentrazione dei suoi nodi per realizzare connessioni e sinergie reciproche. Le grandi funzioni collettive tenderanno a dissolversi e diversificarsi nello spazio e viene richiesta una maggiore integrazione ambientale. Quindi analogamente a quanto avviene per tutti i sistemi territoriali ed urbani, l'organizzazione dei servizi assistenziali e sanitari si articola in un sistema strutturato secondo il principio di rete, pertanto l'ospedale diventa parte di una rete sanitaria che demanda al territorio una serie di servizi assistenziali.
In tal modo si consentirebbe una stratificazione delle modalità di intervento che opportunamente dislocate aumenterebbero l'efficienza del servizio per la cura con la possibilità di delegare alcune attività a presidi specializzati, centri diagnostici, ambulatori.
Tenuto conto di tutti questi principi la proposta considera un ospedale integrato a tutti i livelli della rete che realizza il più alto grado terapeutico e di prevenzione, strutturato come polo scientifico ad alto contenuto tecnologico e centro di diagnosi e cura ma anche centro di ricerca e di specializzazione.
Quindi, per avanzare una ipotesi credibile di linee di sviluppo per una nuova organizzazione spaziale dell'ospedale risulta importante considerare alcuni fattori di cambiamento che alimentano la trasformazione dei quadri esigenziali per i luoghi di cura e che quindi hanno delle ricadute nel progetto dello spazio medico.
Questi fattori influiscono sulla struttura ospedaliera nei suoi principali aspetti formali, organizzativi, funzionali, morfologici, tecnologici e gestionali.
Il programma che si viene a delineare prevede la riduzione degli spazi per la degenza tradizionale differenziata a seconda del livello delle cure e gestita a livello "alberghiero". Questa scelta viene attuata a favore degli spazi dedicati ai blocchi operatori, alla diagnostica, la terapia intensiva, la rianimazione, il day-hospital la day-surgery, i laboratori di analisi e di ricerca, la medicina nucleare, il centro di ricerca biomedica e le scuole di specializzazione.
Parallelamente, ma ad un diverso livello, viene data molta importanza ai luoghi di socialità e di accoglienza, dotando lo schema di un'area dedicata agli spazi comuni con attività come la biblioteca, sala conferenze, negozi, ristorante-bar, mensa, la chiesa che tentano di "urbanizzare" lo spazio pubblico creato nell'ospedale.
Lo schema che si viene a configurare risulta essere composto come una rete complessa di funzioni e tipologia di spazi integrati dai sistemi tecnologici.
I sui confini sembrano incerti lo spazio interno dissolve i propri limiti smaterializzando i suoi confini ed enfatizzando il rapporto con l'esterno configurando comunque un ambiente confortevole, protetto e sicuro.

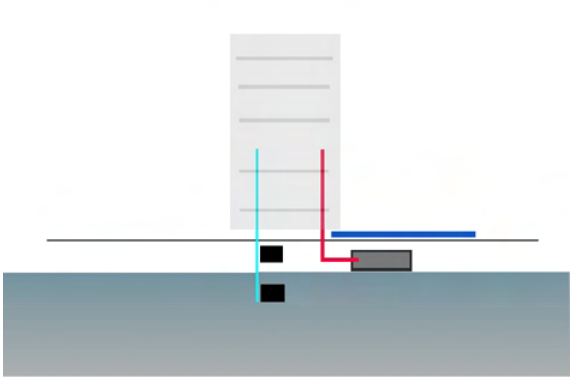


Fig. 39: Di grande importanza sarà l'integrazione dei sistemi tecnologici nella struttura ospedaliera che se opportunamente progettate consentiranno un migliore utilizzo delle risorse, risparmio energetico e migliori prestazioni sanitarie

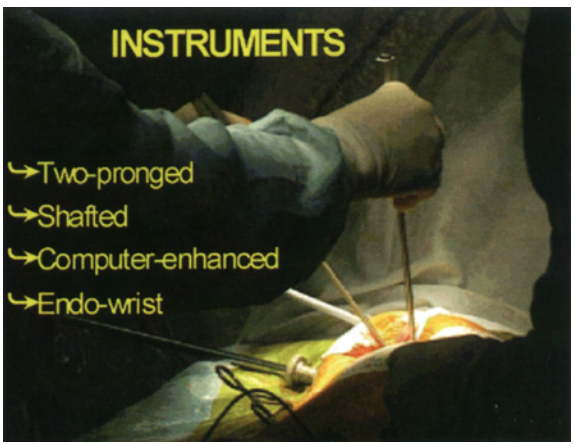


Fig. 40: L'ospedale si deve dotare di una struttura infotelematica per collegarsi anche con l'esterno dell'ospedale. Sarà la base per poter prestare servizi di telemedicina e telechirurgia e di assistenza medica anche a distanza.

Fig. 41: La ricerca sulle biotecnologie si sta sempre più rivelando un fattore determinante per il settore della sanità che mira a passare da un sistema basato sull'assistenza e la terapia ad un sistema a base preventiva.

A questo punto si tratta di comprendere quali siano gli elementi che lasciano più margine di indagine per poter definire nuovi parametri spaziali. Si ritiene che queste possibilità risiedono nell'applicazione delle nuove tecnologie informatiche, cioè la telematica, ma anche in una modificazione funzionale e spaziale concessa dall'opportunità di applicare nuovi approcci terapeutici, le terapie genomiche e di prevenzione. Tali due aspetti sono strettamente collegati ed interdipendenti e seguono la direzione di poter definire uno spazio ospedaliero in grado di erogare prestazioni ad alto livello in luogo confortevole che risponda alle esigenze di umanizzazione sia per la degenza che per la cura. Quindi un'immagine dell'ospedale più articolata che tende a perdere il carattere di luogo chiuso e introverso a vantaggio di una sua apertura verso l'esterno; intesa come la capacità di connettersi su un ampio sistema di relazioni che riguardano sicuramente la scala del manufatto architettonico e il suo immediato intorno ma soprattutto la capacità di relazione attraverso reti informatiche, teleservizi di assistenza ed altro in grado di collegarsi su un ampio territorio che ormai coinvolge una dimensione continentale.
Quindi si intende raggiungere progressivamente, a livello formale e funzionale, all'"umanizzazione" dell'interno in merito alle condizioni di cura, facilità di orientamento e fruibilità degli ambienti, alla gerarchia dei percorsi per le persone (pazienti, visitatori, personale), i materiali aumentando così la qualità dei servizi offerti. Mentre attraverso la telemedicina stabilire modalità differenti di cura in ogni momento e in diversi luoghi. Si innesca una semplificazione e una differente modalità d'uso degli spazi, attraverso cure che coinvolgono maggiormente e direttamente gli utenti. Sono infatti incrementate oggi le pratiche di cura in day-hospital e day-surgery. Sempre più rapidamente si svilupperanno in futuro le azioni di previsione e prevenzione consentite dalla nuova medicina biomedica.

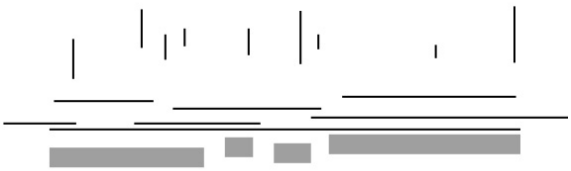


Fig. 42: L'impianto generale sarà caratterizzato da "unità architettoniche" o "insiemi architettonici aperti" con differente riconoscibilità e da edifici di collegamento che restituiscono compattezza all'intero complesso. In tal modo si ottiene una grande leggibilità planimetrica e volumetrica delle differenti funzioni e identità architettonica.

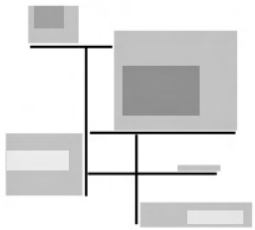


Fig. 43: Il complesso si articola attorno a percorsi e spazi coperti alternati a spazi aperti, sempre di dominio pubblico secondo una gerarchia di utilizzo. Questo è il tentativo di non creare una "isola chiusa" in se stessa o una "miscela" di funzioni frammentarie.

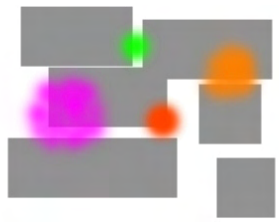


Fig. 44: All'interno del complesso ci saranno degli spazi che accolgono attività extra-ospedaliere. La qualità di questi luoghi è data proprio dalle attività che si possono svolgere: incontro, lettura, riposo ecc.

Fig. 45: L'edificio avrà una crescita principalmente orizzontale. I percorsi saranno articolati a seconda delle attività che si svolgono nell'arco delle 24 ore, saranno aperti al pubblico ma protetti e sicuri e saranno integrati a spazi fortemente caratterizzati e rappresentativi verso la città, mentre confortevoli quelli più privati.

Tutti questi elementi rappresentano fenomeni che inevitabilmente entreranno a far parte della complessa strutturazione dell'ospedale e che richiedono nuova formulazione funzionale e formale dello spazio. Infatti gli spazi destinati a queste attività, insieme al nuovo sistema ambulatoriale, sono deputati anche all'accoglienza della maggior parte dell'utenza e sono quelli che in futuro definiranno "l'immagine dell'ospedale secondo gli attuali orientamenti della cura a breve termine, il meno impegnativa e invasiva possibile"[35] per i pazienti dal punto di vista fisco e psichico.
Un discorso analogo può essere affrontato per quanto riguarda l'introduzione di nuovi dispositivi spaziali volti a migliorare la qualità ambientale e l'umanizzazione degli spazi d'accoglienza e di collegamento conferendogli una configurazione di spazio pubblico, integrato all'intero complesso in grado di svolgere il ruolo di "filtro" tra la città, il territorio e l'ospedale.

Nel tentativo di rendere maggiormente programmatica la proposta di uno schema appare di qualche utilità elaborare un elenco di priorità da applicare. Tali tematiche selezionate nelle descrizioni precedenti individuano una serie di obiettivi per migliorare la qualità ambientale degli spazi.

- Relazione con il contesto ambientale in cui va inserito l'intervento. Questo punto comprende un ampio spettro di possibilità: la relazione con i flussi provenienti dall'esterno, l'aspetto dimensionale, le viste e le connessioni spaziali, la densità volumetrica, differenziazione e sequenza degli spazi, la scelta dell'immagine a livello materico e le relative tecniche costruttive.
- Preparazione di una maglia distributiva dei percorsi per consentire la razionalizzazione degli spazi e delle funzioni valutando le mutue connessioni ed interferenze. A questo livello è già possibile definire delle priorità distributive a seconda delle attività svolte nelle varie zone dell'ospedale. Saranno presenti diverse categorie di percorsi destinati a utenti differenti o destinati alla circolazione di materiali differenti. Troviamo quindi percorsi per i pazienti, visitatori, personale oppure per i materiali sanitari, la biancheria, i rifiuti. Questa stratificazione consentirà inoltre di determinare anche livelli di privacy differenti a seconda delle diverse esigenze dei settori dell'ospedale.
- Diversificazione delle aree di degenza in funzione a diversi parametri. Le ospedalizzazioni vengono suddivise a seconda del grado di assistenza necessaria ai pazienti e si ipotizza, dove possibile, una gestione di tipo alberghiero utilizzabile da malati autosufficienti o da eventuali accompagnatori. Questa suddivisione favorisce aspetti di logistica e di gestione del paziente stesso ma anche aumenta la possibilità di controllo e un più efficiente lavoro del personale. Inoltre le camere che non necessitano di tecnologie avanzate, da predisporre direttamente al posto letto, possono essere svincolate da requisiti tecnologici costosi e quindi progettate con requisiti ambientali a favore della dimensione umana.
- Posizionamento nello schema generale delle diverse zone per facilitare le connessioni e i rapporti reciproci. L'obiettivo alla base di questa operazione oltre a contribuire a razionalizzare le risorse è conseguenza di un maggiore scambio di informazioni, quindi di conoscenza, tra il personale medico e paramedico ma anche tra quest'ultimi ed i pazienti e i loro familiari. Questione che assume sempre più peso allo scopo di migliorare il rapporto medico/paziente in un'ottica di maggiore consapevolezza e aspettativa da parte degli utenti.
- Integrazione in tutte le aree dell'ospedale di vari sistemi tecnologici in misura e quantità opportuna allo svolgimento efficiente del servizio ma anche per il miglioramento del confort ambientale in luoghi protetti e sicuri. Alcuni fra i più importanti sistemi si ricordano: sistemi di controllo, sistemi di gestione, sistemi di sicurezza antincendio, sistemi impiantistici e di servizio, sistemi di controllo della climatizzazione e dell'illuminazione (a favore di una migliore gestione energetica), sistemi di movimentazione come ascensori, montacarichi, nastri trasportatori, bande magnetiche per la distribuzione dei pasti e dei farmaci e infine, oggi sempre più importante, tutto l'apparato di cablaggio e di fibre ottiche per i sistemi informatici, di comunicazione e di collegamento con l'esterno per la telemedicina e la telechirurgia.

Queste tematiche, tradotte in strategie progettuali, dovrebbero confluire in tutte le funzioni dell'edificio creando sinergie reciproche fra le parti dell'ospedale ed essere integrate in un disegno architettonico unitario. L'applicazione di questi principi dovrebbe migliorare l'operatività

e l'erogazione del servizio ed ottenere alcuni vantaggi in merito:

- migliore servizio fornito a parità di investimento iniziale
- contenimento di consumi
- migliore utilizzo delle risorse umane
- diminuzione dei costi di gestione
- facilità di intervento in caso di adattamento o ristrutturazione dei diversi comparti dell'edificio.

Ad un livello più applicativo (o di verifica preliminare) sono state operate alcune scelte con finalità maggiormente progettuali. Ovviamente non si fa riferimento ad una possibile committenza o ad un programma funzionale definito ma sono stati liberamente interpretati alcuni elementi che collocassero la proposta in uno schema operativo.

IPOTESI DI SCELTA DELL'AREA

L'area scelta, per la localizzazione dello schema di progetto, pur essendo un'area decontestualizzata, persegue lo scopo di porsi in dialettica con la proposta formulata dal Ministero della Sanità con la collaborazione di R. Piano. Come noto l'area scelta dal piano per un nuovo modello di ospedale, è un'area dismessa collocata nella periferia della città.
Si propone un'area, si periferica, ma che privilegia alcune scelte. Innanzitutto sembra in apparenza un'area interstiziale risultando dall'incrocio di un'arteria di traffico tangenziale e di un tratto di linea ferroviaria. Allo stesso tempo però è fiancheggiata dalla parte opposta alla tangenziale dal fiume; elemento naturale e paesistico di forte impatto. Facendo, quindi forza su questi componenti, si tenta di appropriarsi per ognuno di questi elementi della loro caratteristica principale. Da un lato si sfrutta la presenza della tangenziale, che consente un rapido accesso all'area, così come si sfrutta, per lo stesso motivo, la presenza della linea ferroviaria per collocare una stazione di metropolitana leggera a garanzia di un collegamento della struttura con i mezzi pubblici. Infine, si affaccia l'intero complesso verso il fiume tentando di inglobare la natura esistente nell'edificio.
Il collegamento con la tangenziale avviene tramite un terrapieno che essendo leggermente rialzato, funge da barriera per il rumore proveniente dalla strada e allo stesso tempo riesce a contenere il parcheggio di servizio all'ospedale.
A questo punto vengono proposti alcuni principi per lo sviluppo della struttura che si genera da queste primarie relazioni.

UN LUOGO APERTO E PROTETTO

L'ospedale si affermarsi come struttura aperta nel tentativo di rompere con l'immagine di "fortezza" (istituzione totale) - sia nel caso di una sua collocazione nel cuore della città, che di una sua collocazione in luoghi periferici - che per molto tempo simbolizzò la malattia e l'esclusione dalla vita collettiva. Deve quindi diventare un luogo di guarigione, la sua architettura ed i suoi spazi devono permettere di accorciare la distanza tra la vita quotidiana e quella dell'ospedale.
Quindi per il progetto di architettura, una delle grandi difficoltà è di concepire un edificio con al suo interno un microcosmo molto particolare, che deve essere allo stesso tempo aperto verso l'esterno ma protetto e sicuro. Il superamento di questo confronto tra due mondi, il quotidiano e quello ospedaliero, può essere operato, come abbiamo visto, attraverso la formulazione di nuovi spazi e nuove modalità d'uso degli stessi.
Il tentativo è quello di svincolare l'ospedale da quel suo stato di introversione mantenendo comunque un equilibrio tra funzionalità, qualità dello spazio architettonico e delle relative condizioni di vita al suo interno. La ricerca di integrazione urbana e ambientale, coniugata agli obiettivi di buona accessibilità e di chiarezza dei percorsi, vengono elaborate attraverso la cura progettuale delle parti pubbliche dell'ospedale.

URBANIZZAZIONE DELLO SPAZIO OSPEDALIERO

Una parte fondamentale del progetto dell'ospedale quindi si fonda sulla matrice dei flussi e delle reti distributive (di vario genere: percorsi, impianti, ecc.) che lo attraversano. Le scelte morfologiche devono, invece rispondere alle problematiche di accesso, di collegamento e di spostamento in modo più approfondito, e il progettista potrebbe lavorare sul progetto ospedaliero come un urbanista studia la pianificazione di un nuovo quartiere della città. Così l'architettura ospedaliera è in parte paragonabile a quella della città tanto a livello dell'organizzazione delle reti interne che dell'interazione che crea con l'ambiente circostante. Per questo, tentare di applicare a priori dei sistemi o dei modelli prestabiliti, porta a risultati che si discostano dalla realtà, si ritiene invece necessario studiare su misura quello che conviene maggiormente ad un luogo, in accordo con un progetto medico-sanitario per la salute.
Tuttavia, questi cambiamenti di approccio e di organizzazione non possono costituire una rottura tra l'antico e il nuovo, si ritiene infatti, che i progetti attuali devono comunque riferirsi alle esperienze recenti e passate interpretandole e rinnovandole alla luce delle nuove esigenze richieste da una attrezzatura ospedaliera contemporanea.

SEQUENZA DEGLI SPAZI

Per tentare di restituire maggiore chiarezza alla

complessità strutturante lo spazio ospedaliero si tenta di caratterizzare il passaggio dalla città alla vita dell'ospedale attraverso una sequenza di spazi e di luoghi pubblici che fungono da filtro. Questi spazi distribuiscono gli spazi più privati, che a loro volta sono collegati da reti di percorsi interni. La metafora città/ospedale/paesaggio assume in questo modo tutto il suo significato, rappresentata dalla stratificazione di spazi e luoghi che dal più pubblico passano a semi-pubblico fino al privato delle camere di degenza. L'urbano, o la natura, penetra all'interno dell'ospedale e il ruolo dell'architettura è quello di conferire identità e gerarchia a questi spazi.

SPAZI ETEROGENEI E PROGRAMMA

Gli ospedali presentano quindi una straordinaria complessità dell'organizzazione spaziale e un elevata intensità di attività svolte all'interno. Conseguentemente a queste caratteristiche, l'ospedale esige effettivamente una organizzazione molto precisa poiché possibili disfunzioni potrebbero causare gravi conseguenze sia dal punto di vista economico, ma soprattutto sul piano sanitario. Una risposta possibile è quella di rispettare il programma sanitario proposto prevedendo spazi dislocati in punti strategici che possono essere acquisiti e messi a disposizione per allocare funzioni future.

SCALA E MODULARITÀ

In molti esempi significativi è emersa la tendenza di rendere indipendenti i diversi settori dell'ospedale secondo rinnovate esigenze.
Questa necessità deriva dall'esigenza di organizzare chiaramente lo spazio delle attività specifiche, rendendole autonome, ma allo stesso tempo, collegate fra loro, suscettibili comunque di evolvere in modo indipendente ognuna secondo i bisogni del momento e delle prestazioni da fornire.
Questo forte orientamento dei programmi ospedalieri si è tradotto attraverso soluzioni architettonicamente differenti mantenendo comunque, anche in diversi contesti, soluzioni simili.
Inoltre, in riferimento ad alcune tendenze dell'architettura contemporanea, anche per gli ospedali si propone l'utilizzo soluzione di architetture molto aeree, indipendentemente dalla scelta morfologica basata sull'orizzontalità o la verticalità della struttura complessiva. La scala degli edifici si riduce, a favore di una dimensione più umana, vengono progettate piccole unità e vengono adattate ai differenti settori del progetto sanitario, il quale, come accennato precedentemente, deve essere specifico per ogni impianto ospedaliero. Questa riduzione di scala è dovuta anche alle esigenze di adattabilità, elasticità e ampliabilità che più settori dell'ospedale richiedono attualmente.

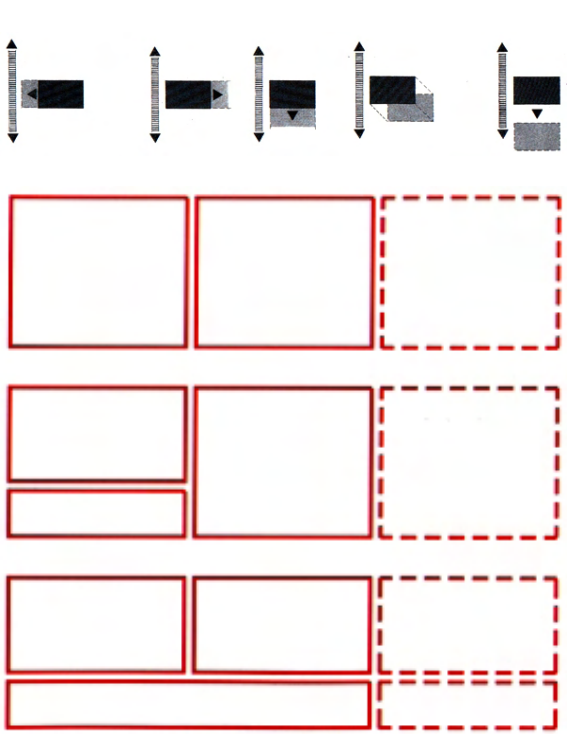


Fig. 46: La possibilità di modificarsi nel tempo.

Si propone a livello schematico, un impianto ospedaliero che assuma caratteristiche morfologiche molto più "esplose", attraverso alcuni caratteri planimetrici con sequenze di spazi diversi, sequenze di barriere e accessi, corti, giardini, gallerie che danno origine a numerose soluzioni differenti e vengono adottati a scale e dimensioni variabili. Questa configurazione tenderebbe a conferire equilibrio tra le singole parti e l'intero complesso.
Questo bilanciamento può essere raggiunto attraverso l'adozione di alcuni principi.
Da un lato, risulta molto importante adottare nella progettazione il principio di modularità - a tutti i livelli, per facilitare l'adattamento degli edifici alle possibili evoluzioni, dall'altro mantenere l'indipendenza e la separazione dei settori garantendo comunque una certa compattezza dell'intero organismo.
La strategia di separazione dei settori, persegue anche l'obiettivo di avere una maglia di sistemi tecnologici generali per tutto il complesso e impianti specifici per ogni edificio con propri accessi indipendenti. I diversi volumi a seconda della loro funzione devono essere collegati direttamente con la piastra di trattamento e cura a favore di una ottimizzazione delle risorse e d'uso degli strumenti medici.
La separazione dei blocchi consente, se con-

trollata e programmata, una maggiore articolazione e differenziazione degli spazi, caratteristica che permette di aumentare la qualità degli ambienti per un maggiore benessere psicofisico degli utenti.

DENSITÀ E LEGGEREZZA

Alcuni esempi di ospedale compatto e ultrafunzionale degli anni sessanta e settanta sono comparabili, almeno su un punto, alle grandi piastre commerciali: la mancanza di aperture e viste verso l'esterno. Ma se l'obbiettivo dei commercianti è quello di far perdere al pubblico i riferimenti spaziali per trattenerlo più a lungo nei percorsi commerciali per agevolare l'acquisto della merce, quello dei servizi ospedalieri dovrebbe, al contrario, agevolare l'orientamento del personale, dei malati e dei visitatori.

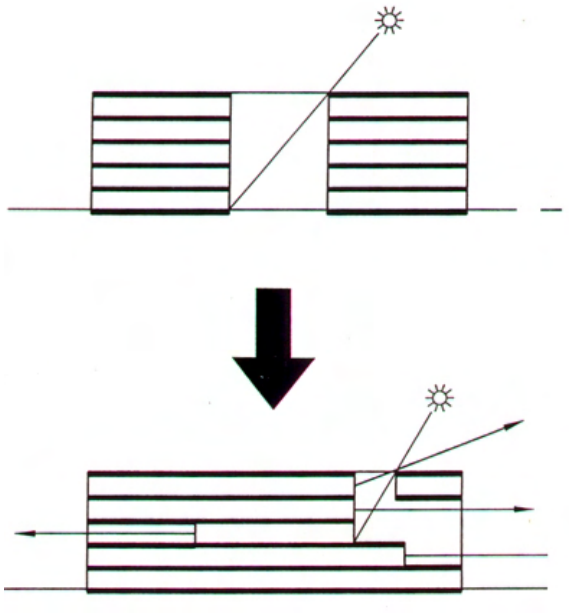


Fig. 47: Articolazione volumetrica e relazione con l'esterno.

Nella proposta vengono abbozzati volumi che presentano una architettura che utilizza la trasparenza delle superfici, capaci di offrire, a più settori dell'edificio, viste e luce naturale, qualità riconosciuta come indispensabile per un buon funzionamento dell'ospedale almeno per due ragioni:

- la penetrazione della luce nell'ambito di tutti i servizi dell'ospedale diventa un requisito di qualità richiesto anche dal personale medico e paramedico
- illuminazione naturale e le viste verso l'esterno, conferiscono maggiore leggibilità ai percorsi e identità agli spazi. Ovviamente l'utilizzo di ampie vetrate non risolve tutti i problemi, comunque i passaggi per i pazienti ed i visitatori facilitano l'orientamento in questi luoghi e restituiscono maggiore qualità agli ambienti.

Questa esigenza di dotare gli spazi di illuminazione naturale potrebbe creare maggiori difficoltà progettuali proprio a causa delle caratteristiche morfologiche molto aperte. Quindi, pur ritenendo questi elementi di progetto molto importanti al fine di creare spazi confortevoli per l'ospedale, questo tipo di approccio, potrebbe produrre alcune difficoltà. Ad esempio privilegiando uno sviluppo dell'edificio in senso orizzontale potrebbe crearsi una contraddizione con il tentativo di ridurre la lunghezza dei percorsi, causa di fatiche inutili e di perdita di tempo del personale, oppure l'uso di superfici vetrate e di patii e giardini comporterebbe la realizzazione di facciate che potrebbero pesare sul budget di costruzione totale, inoltre le distribuzioni delle reti dei percorsi e degli impianti dei differenti settori potrebbero incontrare maggiori vincoli a causa proprio della separazione degli edifici e l'utilizzo di ampie vetrate.
Nel tentativo di rispondere a queste problematiche, lo schema proposto pone come elemento raccoglitore di tutti i flussi impiantistici la piastra posta al piano di campagna e successivamente innervare tutti i settori dell'ospedale attraverso la collocazione in punti strategici di spazi tecnologici per garantire la continuità delle reti e dei flussi.

LO SPAZIO PER L'AMMALATO

Nonostante si parli in modo sempre più diffuso di ospedali volti a diminuire le giornate di ospedalizzazione, il settore della degenza occupa tuttavia una buona parte del complesso ospedaliero. In effetti, se la durata di permanenza all'ospedale tende a diminuire sempre di più l'esigenza di una elevata qualità delle cure, dell'accoglienza e del confort dei malati risulta essere attualmente indispensabile. Questo si traduce nella realizzazione di stanze di degenza individuali o doppie. In questa logica, la concezione dei servizi di ospedalizzazione è imperniata sulle qualità ambientali e prestazionali delle camere di degenza e ovviamente sulla sicurezza del livello di cura erogato.
Gli edifici delle degenze diventano sempre più autonomi, separati come dei satelliti, rispetto alla piastra medico-tecnica di trattamento, diagnosi e cura ma ad essa ben collegata. Presentano inoltre uno spazio flessibile e aperto all'adattamento di funzioni alternative.

Dal punto di vista funzionale e organizzativo dell'intero complesso proprio la posizione, dei servizi di degenza e, come detto del loro rapporto con la piastra medico-chirurgica, risulta

essere fondamentale. I blocchi delle degenze sono separati, come veri e propri edifici distinti. L'obbiettivo è quello di rispondere alla necessità di prossimità spaziale di alcuni settori, di garantire facili collegamenti, di consentire possibili evoluzioni nel tempo. Tutto questo contribuisce a conferire autonomia di sviluppo agli edifici di pronto soccorso e della piastra di diagnosi trattamento e cura, essendo concepiti come elementi autonomi.

L'aspetto ambientale è un altro obbiettivo importante per il settore delle degenze.
La scelta progettuale di localizzazione rispetto all'intero complesso, di orientamento dei corpi di fabbrica e le relative aperture in facciata sono state dettate principalmente per offrire un ambiente confortevole al malato. Viene data molta importanza alla qualità delle viste verso l'esterno dalla stanza di degenza, e frequentemente in un possibile sviluppo del progetto si potrebbe proporre di dotare le stanze di ampie finestrature volte a favorire le viste all'esterno a partire dal letto del malato. Infatti l'orientamento dato ai blocchi di degenza assume un'esposizione privilegiata in quanto tendono a diluirsi nella natura presente e ad affacciarsi verso il fiume.
Le stanze quindi non sono più recluse dentro ad un recinto come nel passato. Le tecnologie costruttive di isolamento acustico e termico, la possibilità di modulazione della luce, l'utilizzo di materiali naturali. si pongono come vere proprie interfacce tra malato e mondo esterno. Ciò consente al malato di restare a contatto con il mondo esterno e di meglio vivere il momentaneo allontanamento dalla vita comune.

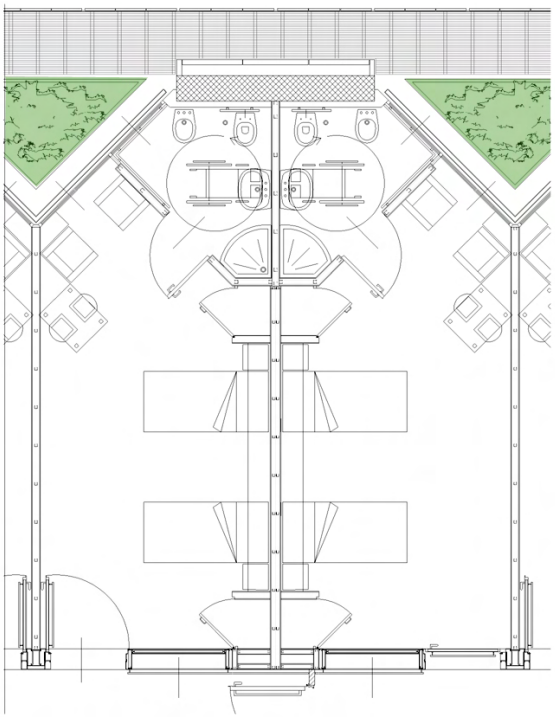


Fig.48: Lo spazio per l'ammalato deve rivolgersi verso l'esterno ma anche verso l'interno dello spazio ospedaliero favorendo il contatto interpersonale, dilatando la percezione dello spazio e allo stesso tempo agevolare il controllo da parte del personale medico. Camera di degenza proposta dal Gruppo di ricerca e consulenza alla progettazione dell'Università di Pavia per il Dipartimento di Emergenza e Accettazione e torri di Degenze del Policlinico San Matteo di Pavia. Coordinatore del gruppo di ricerca prof. G. Calvi, Università degli Studi di Pavia, 2002.

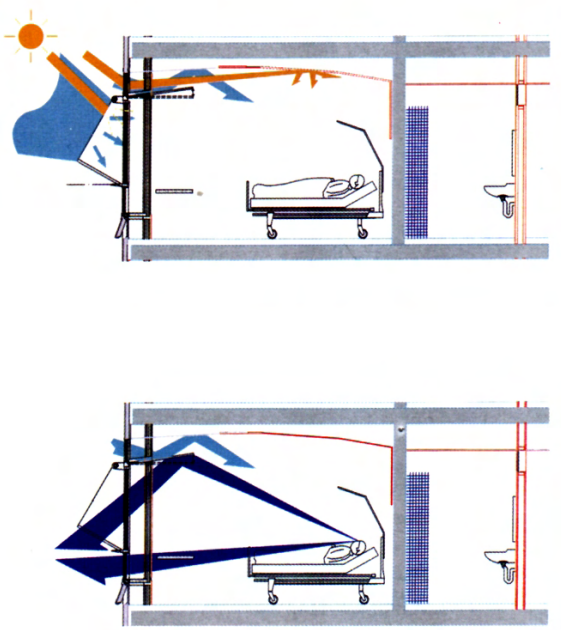


Fig.49: Il controllo dell'illuminazione naturale e la vista del paziente.

Una proposta immaginaria

Dopo il resoconto nei paragrafi precedenti - sulla situazione di criticità che investe la società negli ultimi decenni la quale sta determinando profonde trasformazioni nella progettazione della città e del territorio; sul paesaggio della città contemporanea che risulta oggi di difficile connotazione, in continuo cambiamento e caratterizzate da una grande eterogeneità; sulle principali trasformazioni dello spazio ospedaliero analizzato attraverso alcuni esempi ritenuti significativi per delineare le tendenze principali di progetto che coinvolgono gli edifici ospedalieri; e delineata una strategia di progetto – si è ritenuto coerente proporre nell'Appendice della tesi, una interpretazione del materiale raccolto mediante un momento di sintesi creativa attraverso gli strumenti fin qui acquisiti.
Tale proposta non intende tradurre in termini progettuali gli elementi individuati precedentemente, ma considera il progetto come strumento di apprendimento della realtà come fonte di studio per l'attività del progettare.
L'idea proposta non risulta, pertanto, come un esercizio progettuale concluso, ma piuttosto un modo di pensare, un atteggiamento mentale. Atteggiamento che accompagna trasversalmente tutto il lavoro di ricerca nel tentativo di proporre un discorso aperto e flessibile, non chiuso ed univoco, ma soggetto a possibili riscritture, ampliamenti, aggiornamenti, oggetto di diverse interpretazioni e leggibile da differenti prospettive e punti di vista. Oggetto che si propone di sviluppare un discorso aperto, soprattutto ad opinioni diverse, dove sia possibile avanzare differenti proposte e strategie.

Quindi, in presenza di una situazione di incertezza ma allo stesso tempo di grandi trasformazioni, si propone un oggetto architettonico che assume un ruolo nuovo sia in relazione al contesto in cui è collocato sia per quanto riguarda la formulazione del progetto nei suoi aspetti organizzativi, funzionali, formali e linguistici.
Ciò è rilevabile in numerose esperienze attuali; una trasposizione del ruolo del progetto urbano nel senso che è direttamente l'oggetto architettonico che assume e tenta di svolgere il ruolo di ridisegno degli spazi della città e del paesaggio. Gli edifici progettati sono chiamati a risolvere esattamente dei problemi specifici che rendono l'intervento unico. Questo è un carattere dell'architettura contemporanea che emerge con forza e cioè l'estrema singolarità ed esemplarità delle architetture che creano nella città molteplici spazi connotati da una nuova identità individuale[36].
Il progetto architettonico, e l'organismo edilizio che ne consegue, ha occupato lo spazio della città reinterpretando la trama urbana come organizzazione interna simulando il continuum edilizio attraverso il posizionamento di spazi peculiari che richiamano gli spazi urbani e le stratificazioni presenti nella città. "Tale inversione non ha, come si potrebbe pensare, esautorato strumenti come l'analisi urbana con il suo corredo di scienza tipologica, di ermeneutica dei tracciati e di intelligenza dei tessuti, il principio insediativo, il coordinamento tra le diverse scale dimensionali, la disseminazione puntiforme di microinterventi secondo una logica apparentemente casuale, ma li ha interiorizzati. Tracciati e tessuti, spazi e luoghi, ambienti e contesti sono infatti assunti dal manufatto … "[37] come elementi generatori che compongono l'intero edificio.
In questo contesto l'oggetto architettonico determina l'immagine della città, la rappresenta fornendo dal punto di vista morfologico e organizzativo una duplicazione che non si pone in modo alternativo ad essa ma in parallelo alla città. Si configura così una "architettura/città" che riproduce i suoi caratteri generali senza però ricadere in una rappresentazione monumentale o istituzionale basata su principi esclusivamente funzionali con intenti razionalistici. Non viene naturalmente riproposto l'approccio progettuale degli anni '20-'30 in cui si immaginava una città capace di estendersi per comparti funzionali (perdendo così il carattere essenziale della città storica) autonomamente organizzati e pianificati rigidamente, ma si definisce un'architettura aperta alla città che partecipa e svolge un programma nel contesto in cui è localizzata.
Emerge, una visione dilatata dello spazio della città contemporanea in cui interno e esterno (città-campagna-periferia) non hanno la stessa valenza della città moderna. Questo significa che viene analizzata la città da un punto di vista superiore, rispetto al consueto, tale per cui l'organismo urbano, da un lato recupera la propria unità spaziale[38], dall'altro però, perde la riconoscibilità architettonica delle singole parti.
Per recuperare questo scollamento, si procede nella selezione di alcune caratteristiche generali che persistono nella città che vengono interiorizzate nelle singole architetture.

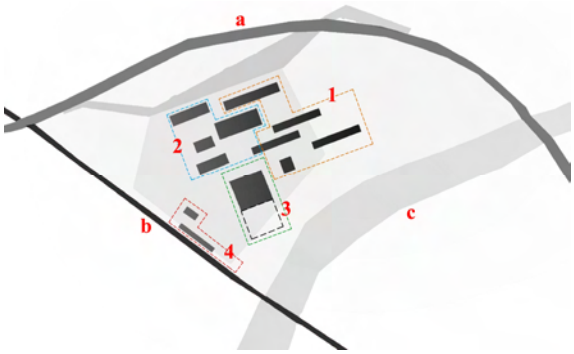
- **diversificazione** dei tracciati e dei tessuti che si realizzano all'interno dell'architettura in una differenziazione dei percorsi che consentono comunque di mantenere la continuità spaziale tra le parti dell'edificio (analogamente nella città, soprattutto in particolari contesti metropolitani, è possibile rilevare la continuità dell'edificato in relazione ai tracciati);

- **molteplicità** delle presenze architettoniche che connotano i luoghi della città. Ciò si concretizza nell'architettura in spazi altamente connotati e ben individuabili attraverso una organizzazione distributiva e spaziale differenziata;

- **intrusione** di elementi che segnano il territorio e ne strutturano i possibili sviluppi che nell'edificio sono gli elementi base su cui si fonda lo sviluppo degli spazi;

- **complessità** delle esigenze individuali e collettive che inducono la città a fornirsi di nuovi luoghi in funzione anche di nuove dinamiche d'uso delle risorse urbane, che rispecchiano nell'edificio la necessità di spazi sempre più specializzati per lo svolgimento delle funzioni.

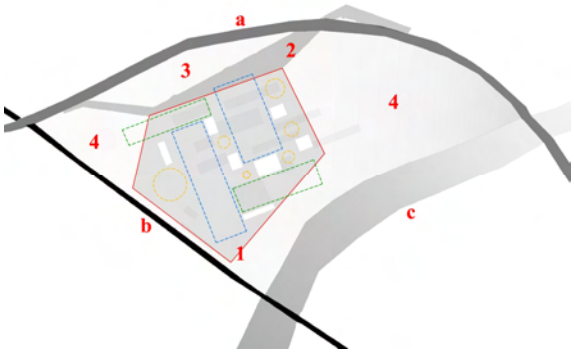
Vengono di seguito proposti alcuni elaborati grafici.



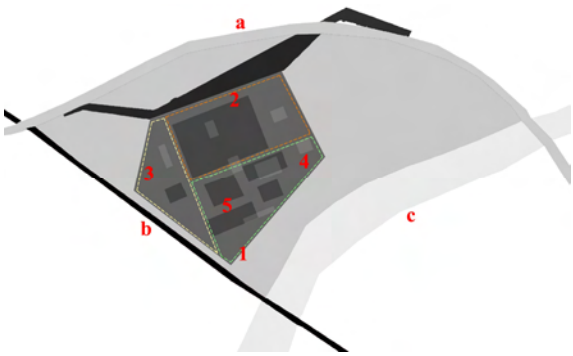
Schema funzionale del livello servizi medico-sanitari

DETERMINAZIONE DI UN PROGRAMMA

Il programma funzionale può essere suddiviso in tre livelli[39]. La numerazione qui riportata fa riferimento alle successive immagini. In lettere viene indicato: a. infrastruttura viabilistica; b. linea ferroviaria; c. corso d'acqua.
I numeri indicano le funzioni ai diversi livelli.
Programma funzionale del livello servizi medico-sanitari: 1. area delle degenze; 2. area del pronto soccorso, blocco chirurgico e centro diagnostico ambulatoriale. In questo settore saranno compresi le funzioni di day-surgery e day-hospital; 3. centro di ricerca biotecnologia; 4. stazione e edificio per l'amministrazione.
Programma funzionale del livello servizi piastra pubblica: 1. piastra pubblica con hall di ingresso principale; la piastra contiene differenti tipi di funzioni pubbliche (caffetteria, biblioteca, piazze coperte e spazi a cielo aperto, sale conferenze, scuole di formazione, ecc.). Tali spazi saranno caratterizzati in modo diverso e possono essere utilizzati a seconda delle necessità del momento; 2. terrapieno che collega l'infrastruttura stradale direttamente al parcheggio dell'ospedale o nella zona dell'ingresso principale; 3. parcheggio, sarà ribassato rispetto il livello di ingresso. Il terrapieno che lo contiene proteggerà gli edifici dal rumore; 4. parco ospedaliero.
Programma funzionale del livello servizi piastra tecnica: 1. piastra tecnica; 2. sterilizzazione; 3. centrale informatica; 4. centrale tecnologica; 5. magazzini e depositi



Schema funzionale del livello servizi piastra pubblica:



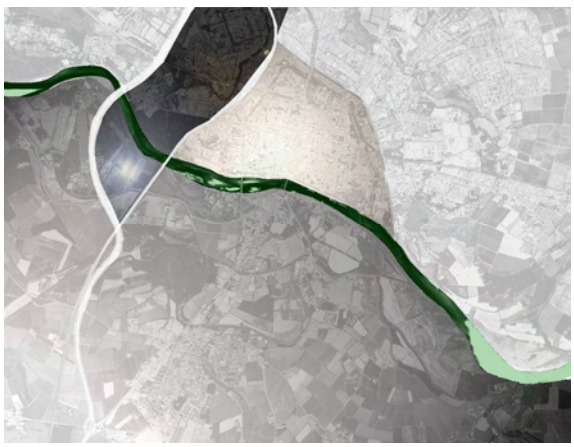
Schema funzionale del livello servizi piastra tecnica

ANALISI DELLE CONNESSIONI

Come precedentemente esposto l'area scelta per la proposta è considerata una area generica della città contemporanea. Un'area interstiziale risultato dall'incrocio di una tangenziale e di un tratto di linea ferroviaria caratterizzata dalla presenza del fiume. Vengono, quindi elaborati alcuni schemi analitici che evidenziano le connessioni dell'area con la città, il paesaggio, le infrastrutture.

Connessione 1: La città.

Connessione 2: Il paesaggio.



Connessione 3: Le infrastrutture.

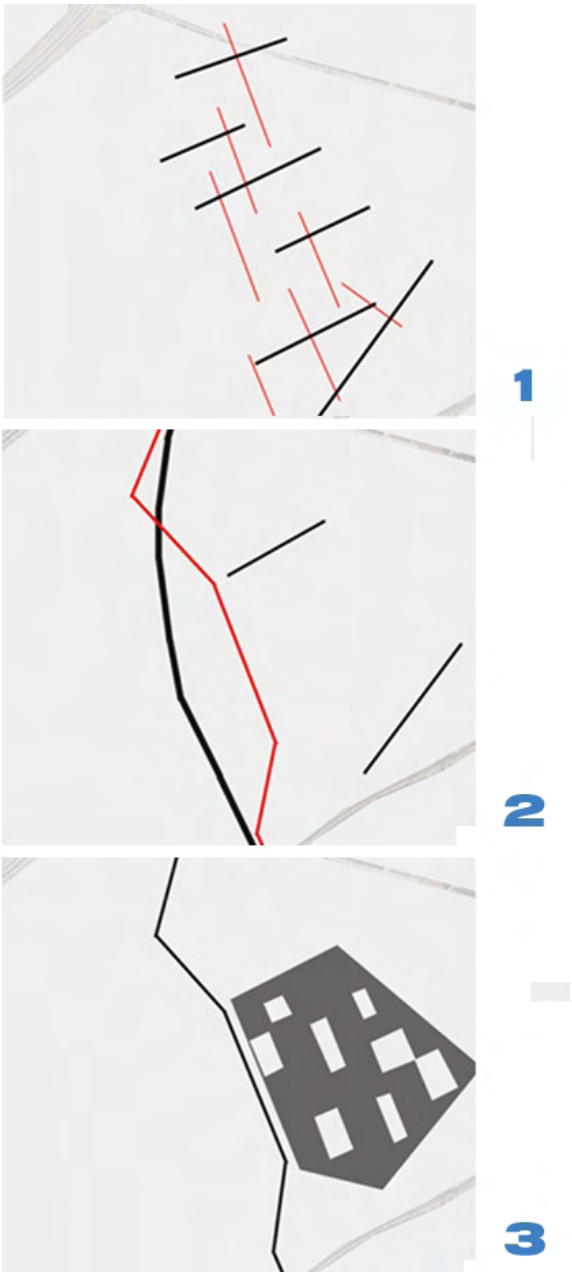
ANALISI DELLE SEQUENZE

Analisi di rilievo fotografico che tenta di cogliere gli aspetti e le valenze di una porzione di città-paesaggio descritto in sequenza.
L'obiettivo è quello di creare delle sezioni significative sul territorio seguendo l'asse infrastrutturale della mobilità. Questa analisi, di tipo puramente percettiva è coerente con l'organizzazione attuale dei servizi sanitari in un sistema reticolare in cui l'infrastruttura svolge un ruolo determinante per il sistema di relazioni che definisce. Pertanto, risulta necessario porre particolare attenzione al progetto del paesaggio come elemento unificante del sistema.

Rilievo fotografico degli spazi percepiti percorrendo l'infrastruttura

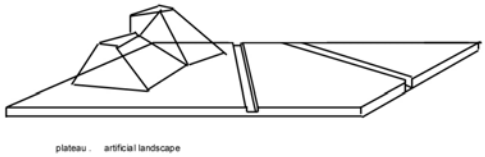
DIAGRAMMI

Il diagramma è in grado di esprimere le caratteristiche principali di un insediamento. Pertanto, gli schemi elaborati, che sono elementi astratti, possono essere considerati come dispositivi di configurazioni architettoniche, e riassumono la struttura organizzativa e morfologica che collega i diversi programmi e le diverse attività ad una specifica struttura architettonica.



1. la relazione con il suolo, la campagna centuriata.
2. la relazione con l'infrastruttura e il paesaggio
3. la relazione con la città gli spazi pubblici.

PLANIVOLUMETRICA E COMPOSIZIONE DEI VOLUMI

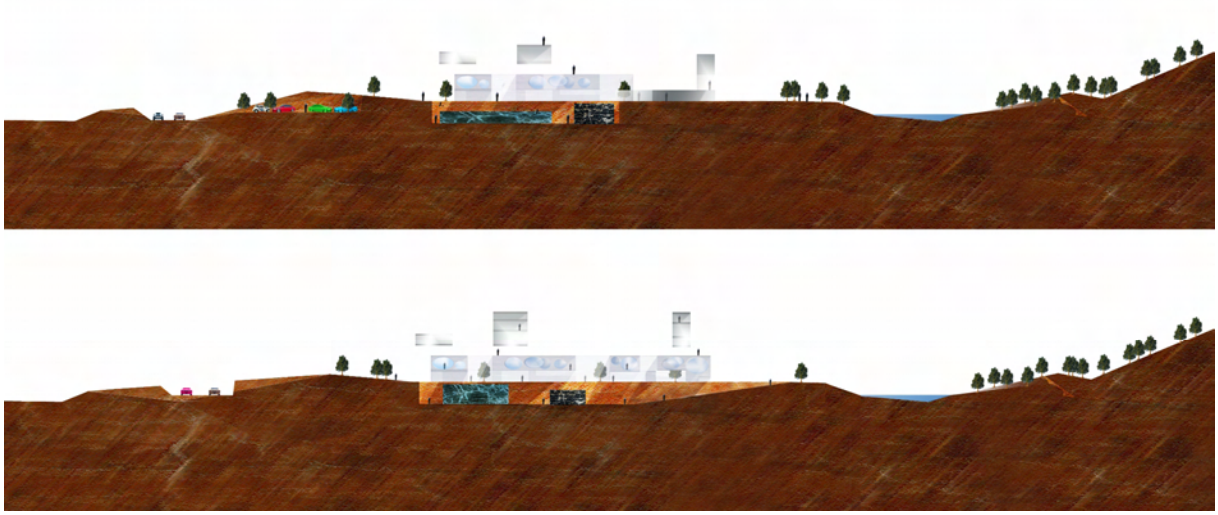


Dal punto di vista volumetrico e compositivo, l'oggetto architettonico, non emerge come elemento singolo ed isolato ma parte di una programmazione territoriale che tende alla costituzione di una paesaggio, non esclusivamente naturale, che interagisce con l'insieme di tutti gli elementi presenti nel contesto.

Schema grafico planivolumetrico generale.

Schema grafico planivolumetrico generale del livello della piastra tecnica.

Negli schemi planivolumetrici riportati sopra, emerge l'intento di integrazione del nuovo complesso architettonico con gli elementi costituenti il paesaggio. Si tende a privilegiare una composizione volumetrica articolata con blocchi separati cercando di restituire comunque compattezza all'edificio. Ciò si nota nella planimetria del livello della piastra tecnica che condensa al suo interno tutte le funzioni "hardware" dell'ospedale.



Sezioni trasversali schematiche.

Nelle sezioni si evidenzia come l'oggetto architettonico determina l'immagine della città, la rappresenta fornendo dal punto di vista morfologico e organizzativo una duplicazione che non si pone in modo alternativo ad essa ma in parallelo alla città. Si configura così una "architettura/città" che riproduce i suoi caratteri generali comprende il paesaggio creando continuità (città-campagna-periferia) tra "interno/ esterno", genera uno spazio pubblico.

Vista dello spazio pubblico dell'ospedale.

La trasformazione del paesaggio non è stata ottenuta ricorrendo a elementi convenzionali. E' stato costruito un sistema di piattaforme che modifica la percezione (e le relazioni) della campagna, del fiume e della città, conferendo a questi elementi il ruolo di sistema. Le piattaforme introducono un ordine orizzontale nel paesaggio, che dialoga con lo spazio dell'ospedale e i recinti determinati dalle infrastrutture. Con la costruzione del terrapieno che contiene i parcheggi, si protegge dalla strada ottenendo un contatto diretto con la natura. Lungo le rampe che connettono il terrapieno alla quota dell'ingresso si giunge allo spazio di connessione sopra rappresentato. Questo spazio costituisce un filtro che ci guida verso il paesaggio senza perdere l'orientamento rispetto la posizione della città, e ci indirizza agli spazi dell'ospedale - attraverso elementi di demarcazione. I limiti, i confini di questo spazio si comprimono e si dilatano in modo dinamico adattandosi ai differenti usi dei suoi utenti..

Bibliografia

AA.VV., *Alison et Peter Smithson,* numero monografico della rivista L'architecture d'aujourd'hui n. 344, gennaio/febbraio 2003.

AA.VV., *Case: Le Corbusier's Venice Hospital,* Harvard Design School, Prestel Edition, 2001.

AA.VV., *La cognizione del dolore e i suoi spazi. Cura, guarigione, architettura*, a cura di F. Minazzi e L. Noseda, Edizioni Accademia di Architettura di Mendrisio, Università della Svizzera italiana, marzo 2002.

S. ALLEN, *Logistical Activities Zone,* in Prototypo n° 2, Lisbona, luglio, 1999.
J. L. BINET, *Les architectes de la médicine.*
G. BRUTTOMESSO, P. BISCARO, *Gli ospedali del futuro*, in Tendenze Nuove n. 4, settembre/ottobre 1998 (Rivista della Fondazione Smith Kline).
A. BUGATTI, *Architettura e Territorio*, Ed. CLUP, Milano, 2002.
A. BUGATTI, *Paesaggio,* IUSS Press, Pavia, 2003
R. CARTESIO, *Discorso sul metodo,* a cura di A. Carlini, Edizioni Laterza, Roma, 1991.
M. CASTELLS, *El reverdecimiento del yo: el movimento ecologista,* in La Factorìa, rivista quadrimestrale della Comunità Catalana, n° 5 feb/mag 1998.
A. CORBOZ, *Ordine sparso. Saggi sull'arte, il metodo, la città e il territorio,* a cura di P. Viganò, Franco Angeli Editore, Milano, 1998.
M. CRAWFORD, *The world in a Shopping Mall,* in M. Sorkin, Variations on a Theme Park, The Noonday Press, New York, 1992.
A. DE CESARIS, *Infrastrutture e paesaggio urbano,* Edilstampa, editrice dell'ANCE, 2004.
R. DORIGATI, *Attorno alla piazza*, in l'Arca n. 179, marzo 2003.
C. FERMAND, *Les hopitaux et les cliniques: architectures de la santé,* Editions Le Moniteur, Parigi, 1999.
R. KOOLHAAS, *Delirious New York*, edizione italiana a cura di M. Biraghi, Electa, Milano, 2001.
R. KOOLHAAS, *Finding freedoms,* intervista di A. Zaera Polo in El Croquis n° 53, Madrid, 1994.
J. F. LYOTARD, *La condizione postmoderna: rapporto sul sapere,* Feltrinelli Editore, Milano, 1991.
P. MELLO, *Metamorfosi dello spazio. Annotazioni sul divenire metropolitano,* Bollati Boringhieri editore, Torino, 2002.
M. MORANDOTTI, *La didattica del progetto*, TCP Edizioni, Pavia, 2001.
N. PEVSNER, *Storia e caratteri degli edifici*, edizione italiana a cura di A. M. Ippolito, F.lli Palombi editore, Roma, 1986.
F. PURINI, *Novità attese da qualche tempo,* in Lotus n. 104, marzo 2000.
S. QUESADA GARCIA, *Paisajes, Redes, Comunicaciones,* II Taller Internacional de Arquitectura – Baeza, 2000, Ed. E.T.S.A. Sevilla, 2001.
F. ROSSI PRODI, A. STOCCHETTI, *L'architettura dell'ospedale,*Alinea, Firenze, 1990.
L. ROSSI, *Ospedale Modello ad alto contenuto tecnologico e assistenziale*, in Materia n. 38, maggio-agosto 2002.
B. SECCHI, *Prima lezione di urbanistica,* editori Laterza, Bari, terza edizione 2001.
I. de SOLA' MORALES, *Territori*, in Lotus n. 110, settembre, 2001.
C. STEVAN, *Gli ospedali intelligenti di domani,* in Progettare per la Sanità n. 19, settembre 1993.
C. STEVAN, *La trasformazione dei luoghi della salute,* Dispensa del corso di Architettura Sociale, Prof. C. Stevan, Facoltà di Architettura, Politecnico di Milano, vol. 1, a.a. 1993/94
M. VIDOTTO, *A+P Smithson: pensieri, progetti e frammenti fino al 1990,* Ed. Sagep, Genova, 1991.
P. VIGANO', *La città elementare,* Skira Editore, Milano, 1999.

[1] C. Stevan, *Gli ospedali intelligenti di domani*, in Progettare per la Sanità n. 19, settembre 1993.
[2] J. F. Lyotard, *La condizione postmoderna: rapporto sul sapere*, Feltrinelli Editore, Milano, 1991
[3] A. Corboz, *Ordine sparso. Saggi sull'arte, il metodo, la città e il territorio,* a cura di P. Viganò, Franco Angeli Editore, Milano, 1998.
[4] S. Quesada Garcia, *Paisajes, Redes, Comunicaciones*, II Taller Internacional de Arquitectura – Baeza, 2000, Ed. E.T.S.A. Sevilla, 2001, pp. 15-17
[5] Diverse discipline si occupano ampiamente e attraverso diversi punti di vista dei fenomeni urbani contemporanei. Alcuni tra i principali autori si ricordano: Saskia Sassen e Castells per le analisi socio economiche, Delgado, Augè per l'antropologia urbana, Virillio e Baudrillard per quanto riguarda la trasformazione sociale dovute alle innovazioni informatiche e della comunicazione.
[6] B. Secchi, *Prima lezione di urbanistica*, editori Laterza, Bari, terza edizione 2001, p. 79.
[7] Ibidem., p. 81.
[8] Ibidem., p. 174.
[9] Uno dei settori con il massimo impiego delle più avanzate tecnologie è infatti la medicina. Il progresso medico si sviluppa più velocemente, o al meno alla pari, degli altri saperi. Non è facile dare una definizione di "tecnologia" quando si parla di Sanità, questo è dovuto alla vastezza dell'ambito (o degli ambiti) di studio. L'innovazione tecnologica va intesa ad ampio spettro, comprende ad esempio le evoluzioni dei farmaci o il rinnovamento delle tecniche di intervento, ma include anche la trasformazione degli strumenti e degli impianti medico-sanitari e richiede

nuovi spazi.
[10] A. De Cesaris, *Infrastrutture e paesaggio urbano*, Edilstampa, editrice dell'ANCE, 2004, p. 9.
[11] M. Crawford, *The world in a Shopping Mall*, in M. Sorkin, *Variations on a Theme Park*, The Noonday Press, New York, 1992.
[12] Questo fenomeno comprende edifici di ogni genere come ospedali, conventi, caserme, che cambiano la loro funzione e diventano scuole, biblioteche, uffici publici ecc.
[13] L. Rossi, *Ospedale Modello ad alto contenuto tecnologico e assistenziale*, in Materia n. 38, maggio-agosto 2002.
[14] M. Castells, *El reverdecimiento del yo: el movimento ecologista*, in La Factorìa, rivista quadrimestrale della Comunità Catalana, n° 5 feb/mag 1998, www.lafactoriaweb.com.
[15] R. Cartesio, *Discorso sul metodo*, a cura di A. Carlini, Edizioni Laterza, Roma, 1991.
[16] Cfr. ad esempio N. Pevsner (1986), F. Rossi Prodi e A. Stocchetti (1990), C. Stevan (1994).
[17] C. Stevan, *La trasformazione dei luoghi della salute*, Dispensa del corso di Architettura Sociale, Prof. C. Stevan, Facoltà di Architettura, Politecnico di Milano, vol. 1, a.a. 1993/94, p. 303.
[18] Nel testo J. L. Binet cita in particolare l'asclepieio di Coo.
[19] C. Fermand, *Les hopitaux et les cliniques: architectures de la santé*, Editions Le Moniteur, Parigi, 1999, pp. 80-81
[20] Ibidem., p. 92.
[21] Il Team X con A. e P. Smithson presentano ai CIAM degli anni '50 alcune proposte che pongono l'attenzione su un nuovo tipo di uso dello spazio. Avanzano l'ipotesi che nella società futura si svilupperanno nuove necessità d'uso degli edifici basati su un nuovo ordine organizzativo e di interconnessione tra le parti configurando così un'edificio che si adatta nel tempo alle diverse necessità e con la possibilità di crescita e di cambiamento. E. Mumford, "*The Emergence of Mat or Field Buildings*", in AA.VV., *Case: Le Corbusier's Venice Hospita*l, Harvard Design School, Prestel Edition, 2001.
[22] Alison e Peter Smithson sono autori di numerose pubblicazioni ed i loro progetti sono oggetto di studio per molti progettisti attuali.
M. Vidotto, *A+P Smithson: pensieri, progetti e frammenti fino al 1990*, Ed. Sagep, Genova, 1991.
A. Smithson, *How to Recognise and Read Mat-Building*, in AA.VV., *Case: Le Corbusier's Venice Hospita*l, Harvard Design School, Prestel Edition, 2001.
A. P. Smithson, *The charged void: architecture/Alison and Peter Smithson*, The Monacelli Press, New York, 2001.
AA.VV., *Alison et Peter Smithson*, numero monografico della rivista L'architecture d'aujourd'hui n. 344, gennaio/febbraio 2003.
[23] Infatti il "catalogo" elaborato dagli Smithson viene aggiornato da T. Hyde (all'interno di una ricerca sviluppata dalla Harvard Design School) estendendo la selezione degli esempi progettuali fino ad oggi tentando di chiarire i concetti base per la selezione dei progetti. Viene confermato sostanzialmente l'approccio per cui si elimina qualsiasi valutazione su "stili architettonici" e viene posta l'attenzione sul processo progettuale che ha come obbiettivo l'applicazione di alcuni principi progettuali precedentemente elencati. T. Hyde, *How to Construct an Architectural Genealogy*, in AA.VV., *Case: Le Corbusier's Venice Hospita*l, Harvard Design School, Prestel Edition, 2001.
[24] Come precedentemente accennato le ricerche degli Smithson sono oggetto di studio da parte di molti progettisti contemporanei. In particolare Rem Koolhaas parlando dei riferimenti adottati nei progetti elaborati dallo studio OMA dice: " … Riesaminando il recente passato credo realmente che oggi stiamo trattando in modo rinnovato gli stessi temi sperimentati intorno agli anni '65 (L. Kahn, Mies, A. Smithson), dopo aver superato <l'incubo semantico> degli ultimi anni. … Direi che alcuni dei nostri progetti – come il Parco de La Vilette o il Municipio dell'Aja – possono essere interpretati come monologhi con gli Smithson sul tema dell'indeterminatezza. Tentammo di trovare con questi progetti una risposta a qualcosa che gli Smithson – o il Team X – lasciarono irrisolto: come mettere in relazione l'indeterminatezza con la specificità architettonica".
R. Koolhaas, *Finding freedoms*, intervista di A. Zaera Polo in El Croquis n° 53, Madrid, '94, p.16.
[25] Un atteggiamento consapevole della progettazione "dei vuoti" e degli "spazi aperti" viene espressa già alla fine degli anni '80 da autorevoli autori come: K. Frampton, B. Secchi, R. Koolhaas ed altri. "… Il vuoto diventa elemento strutturale e strutturante della forma della città e del territorio. …" P. Vigano, *La città elementare*, Skira Editore, Milano, 1999, p. 148.
[26] S. Allen, *Mat Urbanism: the Thick 2-D*, in AA.VV., *Case: Le Corbusier's Venice Hospita*l, Harvard Design School, Prestel Edition, 2001.
[27] "L'infrastruttura funziona non per proporre costruzioni specifiche su dati luoghi, ma per costruire il luogo in se. L'infrastruttura prepara lo spazio per le costruzioni future e genera le condizioni per gli eventi futuri". S. Allen, *Logistical Activities Zone*, in Prototypo n° 2, Lisbona, luglio, 1999.
[28] A. Smithson, op. cit.
[29] L. Prestinenza Puglisi, *Tre parole per il prossimo futuro*, collana Babele, Ed. Meltemi, 2002.
[30] S. Allen, op., cit., p. 121.
[31] Nelle principali scuole di Architettura internazionali e degli Stati Uniti, appaiono due filoni principali di ricerca che riguardano questi nuovi approcci al progetto: quello ultra innovativo che sta ricercando, sino a portarlo al limite, le implicazioni dell'architettura digitale – ad esempio le sperimentazioni che stanno avvenendo particolarmente intorno alla Columbia University – e quello più conservativo che trovano i propri capisaldi alla Harvard University e, più in generale, nella ricerca spagnola.
[32] S. Allen, op., cit., p. 122.
[33] Cfr. si fa riferimento alle analisi posta all'inizio.

[34] M. Castells, op. cit.
[35] P. Mello, *Metamorfosi dello spazio. Annotazioni sul divenire metropolitano*, Bollati Boringhieri editore, Torino, 2002, p. 124.
[36] " … nella nuova architettura trionfa la diversità e la ricerca di identità diventa costume di vita. … Siamo all'alba di una nuova architettura che non si alimenta di orientamenti linguistici … la nuova architettura incarna la democrazia e libertà." B. Zevi, *Dopo 5000 anni: la rivoluzione*, in Lotus n. 104, marzo 2000 p. 52.
[37] F. Purini, *Novità attese da qualche tempo*, in Lotus n. 104, marzo 2000 p. 60.
[38] E' l'esempio, sempre più diffuso nella progettazione urbana, dell'utilizzo delle viste da satellite che permettono di valutare a livello territoriale l'organizzazione delle città e del suo territorio per effettuare delle proposte di tipo infrastrutturale che garantiscono una risposta efficace in termini di salute generale.
[39] Il programma funzionale, che segue in parte lo schema proposto dal Ministero della Sanità con la collaborazione di R. Piano può essere suddiviso in tre livelli.

RAGIONI ED ESPRESSIONE PER LA FACCIATA TECNOLOGICA

Matteo Spairani

Università degli Studi di Pavia – Dipartimento di Ingegneria Edile e del Territorio
XVII Ciclo
Tutor: Prof. Angelo Bugatti; Prof. Marco Morandotti

Introduzione

"L'architettura moderna è finita; l'ultimo suo prodotto è stato il Seagram Building".
Prendendo spunto da questa provocatoria posizione, con la quale interveniva nel 1959 Philip Johnson ad un convegno dell'American Institute of Architects, si sviluppa questo lavoro di ricerca, il cui obiettivo è la definizione di un quadro dello stato dell'arte sulla base del quale elaborare delle proposte di sviluppo per una facciata tecnologica attuale che, oltre a supportarne la progettazione, aiutino ad identificarne la ragione e l'espressione.
Le parole di Johnson, interpretate nei confronti della composizione dei sistemi di facciata, assumono infatti una particolare valenza osservando come la progressiva standardizzazione e modularità dei componenti abbia portato ad una applicazione e diffusione dei sistemi curtain wall, soprattutto negli edifici alti, che ha col tempo perso la forza espressiva originaria.
Si potrebbe parlare di un rischio di "clonazione" di alcuni dei modelli di riferimento, aspetto che è stato ricordato anche da Irace, il quale nel riferirsi alla espressione strutturale della facciata fatto da Mies van der Rohe, o all'immagine Lecorbusieriana del grattacielo come nel caso del Segratariato delle Nazioni Unite, scriveva: *"La pratica corrente degli anni'60 li articolerà in una sorta di vernacolo metropolitano moltiplicandone gli effetti senza peraltro raggiungere l'intensità degli originari modelli"*[1].
Questa progressiva ambiguità di capacità espressiva nella composizione della facciata dell'edificio alto, a scapito del suo trasformarsi in pura espressione di tecnica e tecnologia, delinea pertanto il punto critico da cui questo studio parte, proponendosi di indagare i rapporti fra tecnologia e linguaggio che hanno caratterizzato l'evoluzione dei sistemi di facciata e individuandone gli aspetti che possono essere utilizzati nella architettura contemporanea.
Da questi primi esempi si evidenzia inoltre il tipo architettonico a cui si farà riferimento in questo studio: il grattacielo. Due sono le principali ragioni che verranno definite a sostegno di questa scelta: la prima connessa ai maggiori requisiti che la facciata di un edificio alto comporta, la seconda connessa alla autonomia di carattere del grattacielo stesso. L'evoluzione di linguaggio dei sistemi di facciata è stata pertanto interpretata anche in riferimento alle metamorfosi nella espressione dei grattacieli che, come annotava Ada Louise Huxtable, hanno rappresentato e rappresentano un importante campo di sperimentazione dell'architettura moderna.
"L'edificio alto, oggi, è un simbolo e un avvertimento dei cambiamenti che stanno rapidamente sconvolgendo la filosofia e la pratica della architettura"[2].
In primo luogo però è necessario definire quale sia il concetto di facciata da cui si intende partire. Prima della nascita del grattacielo infatti, la facciata era definita dai rapporti pieno-vuoto e luce-ombra determinati dalle aperture che, oltre a governare il passaggio dell'aria e della luce, ne determinano la trama compositiva. Al proposito si ricorda una intepretazione di Michele de Sivo: "Nel rapporto fra interno ed esterno, o se si preferisce, fra vuoti e pieni che generano discontinuità nel sistema murario, tra luce ed ombra che influenzano e caratterizzano gli spazi interni dell'organismo architettonico, la configurazione dell'apertura e della finestra continua a rivestire, nella cultura architettonica, un ruolo cruciale nella ricerca della qualità formale, tecnica ed estetica"[3].
Uno degli elementi quindi preponderanti alla definizione della facciata era (ed è tuttora) l'elemento finestra, nelle sue varie forme e posizioni rispetto ai setti materici principali. Quando la disponibilità di nuovi materiali, unita al progresso della tecnica delle costruzioni ha portato alla nascita degli edifici alti, l'evoluzione della finestra ha subito una forte accelerazione ed il rapporto fra pieni è vuoti ha iniziato a virare radicalmente verso la preponderanza di questi ultimi, dilatando gli elementi finestrati fino a sostituirsi alle pareti. Nasce quindi la facciata

moderna successivamente interpretata dai grandi maestri: Mies van der Rohe attraverso la ricerca delle geometrie e l'espressione strutturale (Lake Shoere Drive, Chicago, 1951; Seagram building, New York, 1951), Le Corbusier attraverso la finestra in lunghezza e la facciata libera, (Sede ONU, New York,1949) Wright attraverso l'interpretazione dei rapporti fra gli spazi (Johnson Wax, Racine, 1947; Price Tower, Bartlesville, 1956).
Entrando ora nel merito dei punti che verranno nel seguito affrontati è necessario precisare che essi riguarderanno gli aspetti energetici e compositivi del sistema di facciata nell'edificio alto, analizzando le situazioni in cui il tema dominante sia la presenza sempre maggiore del vetro nelle sue varie forme e gradi di trasparenza. Si rimanderanno quindi ad ulteriori approfondimenti le problematiche relative ai comportamenti strutturali e di sicurezza. Lo schema secondo il quale si sviluppa il lavoro prevede un inquadramento storico dalle origini del tema fino alla definizione dell'attuale stato dell'arte attraverso una suddivisione per classi (definite come zero, prima, seconda, terza), elaborando per ciacuna di esse una lettura compositiva della tecnologia presente, indagandone gli aspetti di innovazione che ne hanno consentito oppure stimolato il rinnovamento di linguaggio. Lo studio delle classi dalla prima alla terza si basa su tre aspetti: definizione delle caratteristiche tecnologiche, individuazione degli edifici di riferimento attraverso i quali inquadrarne i principali caratteri compositivi, esplicitazione delle criticità e dei legami con la classe successiva.
La classe zero si riferisce al periodo di transizione da parete finestrata fino ai primi esempi di facciata continua. La prima classe tratta le facciate continue in cui rimane dominante la presenza dei telai di supporto visibili e degli elementi spandrel. La seconda classe affronta i sistemi di facciata strutturale, caratterizzati principalmente dai giunti siliconici che eliminano la presenza dei telai di supporto a vista.
Si giunge infine alla descrizione della terza classe, caratterizzata dalla tecnologia dei sistemi doppia pelle. Essi possono essere considerati come lo stato dell'arte, le ottime prestazioni ottenibili nel controllo climatico degli ambienti a cui sono destinate infatti, li pongono in un ruolo di primo piano nella architettura contemporanea[4]. Lo studio di questi sistemi ha evidenziato due punti di esame, sui quali si è focalizzata la seconda fase della ricerca: il primo riguarda la differenziata espressione architettonica e linguistica della tecnologia doppia pelle: troviamo infatti esempi come la torre RWE di Ingehoven & Partners ad Hannover(1997), quasi una stazione sperimentale, contrapposti all'eleganza e l'integrazione nel contesto della torre Debis di Renzo Piano a Berlino(1999).
Il secondo punto riguarda invece la complessità progettuale dovuta a differenti schemi di funzionamento, ed alla ricerca ancora in atto di idonei metodi di calcolo .
Il primo punto, partendo anche dalla evidenziazione dei rapporti fra tecnologia ed espressione di linguaggio presenti nel passato, sembra suggerire una nuova interpretazione di questa tecnologia di facciata, che ne esprima il potenziale carattere definito in questa ricerca con il termine pelle energetica.
Si propone quindi, la definizione di una quarta classe (per una continuità di termini con le definizioni precedenti), di cui verranno definiti i caratteri con un conseguente sviluppo di un linguaggio dell' involucro, in cui la tecnologia sia quella alla base della terza classe, mentre la composizione sia volta, anche attraverso l'uso di nuovi materiali, a dare espressione del ruolo di pelle energetica che essa ricopre.
Riferendosi pricipalmente alle teorie di K.Yeang sulla città verticale e di Fuller sui rapporti forma-funzione-struttura, integrate con la visione delle cosidette pelli intelligenti (Compagno, 1995; Wigginton, 2002); si giunge all'inquadramento dell'ambiente costruito e dell'ambiente naturale come rispettive biosfere artificiali e naturali, in cui la separazione avviene attraverso un sistema tecnologico dotato di forma potenzialmente organica definito come involucro.
E' quindi a conclusione di questo processo di analisi che viene proposta l'introduzione di una quarta classe, nella quale la facciata viene sostituita da un elemento, l'involucro, che si basa morfologicamente sul sistema doppia pelle ed esprime il carattere di pelle energetica. In questo studio i termini Facciata e Involucro non sono quindi sinonimi ma rappresentano due differenti concetti così espressi::

Facciata: Insieme di elementi tecnologici di chiusura fra esterno ed interno, fisicamente separati dalla struttura di copertura e caratterizzati da una comportamento energetico statico rispetto alle condizioni ambientali.

Involucro: Insieme di elementi tecnologici di separazione fra esterno ed interno, caratterizzato da una continuità spaziale su tutto l'edificio e da un comportamento energetico dinamico in risposta alle variazioni ambientali.

Nel campo dei materiali in particolare si è indagata la possibilità di sperimentazione dell'ETFE (cfr. cap.3.4.2), materiale derivante dalle tensostrutture, per le sue caratteristiche di plasmabilità, leggerezza, efficienza luminosa ed energetica. Esso si presta sia all'ottenimento di una nuova espressione compositiva, sia al potenzia-

le miglioramento delle prestazioni energetiche; per questi motivi è stato introdotto all'interno dei sistemi di quarta classe. Esempi di applicazioni di questo materiale in vari settori dell'architettura sono già presenti, si pensi ai progetti di Herzog & de Meuron per gli stadi di Monaco e Pechino oppure al museo della scienza spaziale di Grimshaw & Partners a Leicester, e verrano riportati in funzione della esportabilità delle loro soluzioni ai sistemi in doppia pelle.
Il secondo punto porta invece ad una indagine che possa permettere di valutare i parametri principali da considerare per poter sfruttare questo sistema in maniera idonea alle esigenze, garantendo che le prestazioni in opera del sistema siano conformi a quelle previste. Si svilupperanno quindi degli indicatori, sotto forma di tabelle, come strumento da utilizzare in fase metaprogettuale.
A supporto verrà inoltre proposto un metodo di analisi che consente di approcciare in modo semplificato il problema del calcolo energetico di un sistema doppia pelle, caratterizzandone l'efficienza nei differenti regimi, estivo ed invernale, attraverso parametri standard come la trasmittanza equivalente od il fattore solare.
Il passo finale consisterà nella valutazione energetica, attraverso i modelli di analisi precedentemente definiti, della possibilità di applicazione, alla quarta classe, del materiale ETFE, le cui caratteristiche come precedemente introdotto possono consentire il passaggio da linguaggio di facciata in linguaggio dell'involucro.

Il grattacielo ed i sistemi di facciata, le ragioni di una scelta

Come introdotto precedentemente il tipo edilizio a cui principalmente si farà riferimento per gli esempi riportati è il grattacielo.
Le ragioni di questa scelta possono essere duplici, derivando dalla complessità tecnologica di questi edifici, in risposta alle notevoli richieste prestazionali e dal ruolo comunicativo che essi ricoprono nella architettura moderna. Ricordando le parole di Irace "*Nessun altro tipo edilizio incarna meglio le spinte e le forze del mondo moderno o meglio ne esprime i cambiamenti di credenze, di gusti e di pratiche*"[5].
La prima ragione può quindi considerarsi tecnica: le maggiori pressioni del vento esercitate in facciata, le notevoli deformazioni imposte, l'azione dell'acqua e degli altri agenti atmosferici hanno necessariamente accelerato gli sviluppi in termini di innovazioni tecnologiche dei componenti. Basti pensare allo sviluppo dell'elemento di ancoraggio per la facciata del grattacielo Pirelli, che consente il recupero delle deformazioni su tre assi; oppure alla introduzione dei sistemi di fissaggio siliconico dei vetri che, creando un vincolo elastico, consentono di assorbire le deformazioni in esercizio limitando nel contempo il fenomeno dei ponti termici.
La seconda ragione può invece legarsi all'interpretazione del grattacielo come oggetto di sperimentazione ed innovazione compositiva. Al riguardo alcuni autori, come De Sivo[6] ed Irace[7], ne hanno rilevato dei momenti di flessione ed involuzione formale, ma è lo stesso De Sivo a sottolinearne però la capacità di risposta attraverso l'incentivo del rinnovamento degli stili e della tecnica[8].
Il grattacielo è esso stesso carattere architettonico, in esso è possibile riconoscere un linguaggio, determinato dagli elementi della composizione, strettamente legato alla pianta ed alle sezioni dell'edificio.
Questo tipo architettonico permette quindi al sistema di facciata di esprimersi senza le potenziali contaminazioni formalistiche che spesso si verificano nella architettura comune.
Attualmente inoltre in alcuni progetti come la Deutsche Post di Murphy/Jahn (Bonn, 2001), la sede dell' ADIA di Khon Pedersen Fox (Abu Dhabi, 2004), la Tour San Fins di Jean Nouvel (Parigi, concorso 1989), si evidenzia il tentativo di caratterizzare dei linguaggi che, in funzione della plasmabilità di forme e materiali, impiegano il sistema di rivestimento come espressione del nuovo ruolo energetico o mediatico che questi edifici vogliono rappresentare.
Ripercorrendo ora brevemente alcuni punti chiave per lo sviluppo tecnico del grattacielo si può aprezzare l'importanza delle spinte innovatrici per lo sviluppo di ogni loro parte, individuando un chiaro rapporto di base fra linguaggio e tecnologia. Con la fine del 1800 infatti, prendono l'avvio delle profonde trasformazioni nel campo dei materiali e delle tecniche della costruzione. Sviluppatesi principalmente in Europa, le nuove idee e le nuove tecniche trovano terreno fertile negli Stati Uniti, dando vita ad una nuova tipologia edilizia sviluppata in altezza. Cresciuto attraverso la scuola di Chicago, il grattacielo, prettamente all'epoca edificio commerciale o per uffici, ha rappresentato quindi l'ideale campo di sperimentazione nel raggiungimento di nuove altezze e nella realizzazione di svariati sistemi di chiusura perimetrale.
La parete viene sempre più sollevata dai compiti strutturali, permettendo quindi un progressivo avvicinamento verso la trasparenza totale. Condizione necessaria a questo obiettivo è stato lo sviluppo dei sistemi portanti a telaio. Uno dei primi riferimenti moderni a questi sistemi si trova negli edifici di quattro piani di Baxia, tra Rossio e la Piazza del commercio a Lisbona, costruiti in seguito al terremoto del 1755. In essi

è presente uno scheletro portante in legno all'interno del quale venivano realizzati i muri e poste le finestre prodotte in serie. Con il successivo avvento delle strutture in ferro ed acciaio si arriva ben presto alla negazione della parete in quanto piena ed opaca, sostituendola progressivamente con un sistema finestrato che raggiungerà presto le dimensioni della maglia strutturale. Il grattacielo, all'inizio tipica espressione della città americana, solo a partire dalla metà del secolo scorso inizia a diffondersi nel resto del mondo, trasformandosi da "*macchina che fa rendere il terreno*"[9] a oggetto di globalizzazione, comunicazione mediatica, tecnologia e risparmio energetico. Attraverso questa diffusione su scala mondiale si sta, sopratutto negli anni recenti, stimolando la ricerca e l'innovazione su un nuovo piano del linguaggio che interpreta una nuova gestione degli spazi costruiti, rendendoli sempre più integrati a livello ambientale. Alcuni progetti già realizzati, come la Commerzbank di Norman Foster; od altri ancora allo stadio progettuale, come la Elephant & Castle Eco-Tower di Kean Yeang (progetto per il 2010), possono essere la testimonianza di questo nuovo corso.

Capitolo 1

1.1 La definizione delle classi

L'identificazione delle classi attraverso cui catalogare i sistemi di facciata è stata studiata grazie alla definizione di caratteristiche guida che ricadono in differenti ambiti connessi sempre e comunque al tema della facciata come oggetto tecnologico. Essendo però noto come nel panorama della produzione architettonica molti termini abbiano significati ambivalenti, si è ritenuto necessario in primo luogo specificare, per alcuni termini che ricorreranno spesso nella tesi, definizioni e legami in maniera univoca. Tali termini sono: curtain wall, con le sue suddivisioni in facciata continua e strutturale; e facciata a doppia pelle.

Curtain wall: Sistema di chiusura perimetrale non portante, separata dal sistema strutturale dell'edificio. I carichi, dovuti al peso proprio ed all'azione del vento vengono trasferiti al sistema strutturale dell'edificio attraverso sistemi di ancoraggio.

Facciata continua: Sistema di facciata nel quale il fissaggio dei vetri al telaio di supporto avviene attraverso dei pressori meccanici. Il telaio quindi rimane visibile all'esterno, con dimensioni che dipendono dai carichi agenti .

Facciata strutturale: Sistema di facciata nel

	TECNOLOGIA		ELEMENTI DELLA COMPOSIZIONE	ESPRESSIONE
0	Trasformazione morfologica da parete finestrata a parete vetrata		- Finestrature - Telai di supporto	
1	Facciata continua, vetro trasparente, fissaggio meccanico	Sistema a pannelli (Visibile) Sistema montanti e traversi (Visibile)	-Telai di supporto -Elementi della struttura -Vetri	- Strutturale - Geometrica
2	Facciata strutturale, vetro riflettente, fissaggio siliconico	Sistema montanti e traversi (Non visibile)	- Vetri - Giunzioni	- Forma composta - Tecnologia
3	Facciata doppia pelle	Sistema a telai multipli per il supporto dei due ordini di facciata.	-Duplicazione delle superfici vetrate -Meccanismi di regolazione delle aperture -Intercapedini	- Poliedrica
4	Involucro in doppia pelle	Telaio spaziale per il supporto del vetro e dell'ETFE. Intercapedine ridotta	-Cuscini in ETFE (materiale) -Esoscheletri strutturali	- Involucro

Tabella riepilogativa delle classi .

quale il fissaggio dei vetri al telaio di supporto per mezzo di silicone strutturale(cfr.cap 1.4.1).
Il telaio rimane quindi occultato alla vista definendo una superficie esterna senza soluzione di continuità.
Facciata doppia pelle: Sistema di facciata realizzato attraverso due singole facciate, separate da una intercapedine di ventilazione per il miglioramento delle prestazioni energetiche.
Tornando ora alla definizione delle classi è importante ricordare che l'obiettivo di questa operazione è quello di identificare i principali punti di sviluppo tecnologico delle facciate, con lo scopo di ottenere un raffronto con le evoluzioni del linguaggio architettonico.
Verranno quindi in parte ignorati gli affinamenti di una tecnologia già esistente (come ad esempio i miglioramenti delle gomme di guarnizione per i vetri), a meno che non coincidano con un cambiamento di forma e di progetto, e non solo di prestazioni. Attraverso questa catalogazione si propone una analisi dei sistemi di facciata che non vuole, e non sarebbe corretto, associare ad ogni classe uno stile architettonico, ma intende affiancare alle innovazioni tecniche gli elementi della composizione ed il loro ruolo nella definizione del linguaggio. La classificazione effettuata è riassunta schematicamente nella seguente tabella, nella quale si è cercato di evidenziare i principali aspetti tecnologici, compositivi e di espressione linguistica.
Alle tre classi (in giallo) che rappresentano le tecnologie di facciata, viene affiancata una classe (in azzurro), rappresentante il periodo di transizione ed una classe (in magenta)che comprende le linee di linguaggio che verranno proposte a conclusione del processo di analisi.
Esse sono state numerate a partire da una classe Zero, nella quale sono stati classificati gli edifici identificati come di transizione, resasi necessaria per la corretta comprensione dei processi che hanno portato alla nascita della facciata a curtain wall. All'interno di questa classe vengono raccolti gli esempi che porteranno allo sviluppo della facciata trasparente nell'edificio alto. E' infatti importante ricordare che il tema della facciata determinata dall'elemento finestra non scompare all'interno del panorama architettonico, si pensi ad esempio al Chrysler Building di Willam van Allen nel 1931 a New York, fino all At&T di Johnson nel 1980 sempre a New York. Questi temi però, in accordo con gli obiettivi della tesi riguardanti lo studio dei sistemi trasparenti, non verranno presi in considerazione, catalogando quindi nella classe zero gli esempi di riferimento a supporto di ciò che viene chiamato la smaterializzazione della parete da finestrata a vetrata.
Ciascuna delle successive tre classi, le cui peculiarità tecnologiche saranno esaminate nei paragrafi successivi, verrà corredata di una macroscheda di riferimento a identificazione delle caratteristiche tecnologiche principali e di successive schede progettuali, con l'obiettivo di esaminare i passi fondamentali di sviluppo fino alla trasformazione morfologica dei sistemi in doppia pelle. Inoltre per gli esempi descritti nelle macroschede di prima e seconda classe, sono state svolte delle analisi energetiche in modo da poter avere una indicazione delle prestazioni raggiunte, rapportate a quelle massime ottenibili allo stato attuale della ricerca.
L'ultima classe, la Quarta , non rappresenta una realtà del panorama attuale, ma un possibile momento di cambio di linguaggio, proponendo la modifica del concetto di separazione fra ambiente esterno ed interno, da facciata a involucro.In questa trasformazione assumono grande importanza i rinnovati rapporti energetici fra edificio ed ambiente. Per questo motivo gli esempi selezionati sono quindi stati scelti in base sia alla ricerca di applicazione di nuovi materiali che possono andare a supporto dei caratteri definiti per la quarta classe; sia in base allo sviluppo di forme condizionate dalla volontà progettuale di adattare al meglio gli scambi energetici fra edificio ed ambiente circostante.

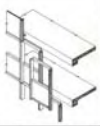
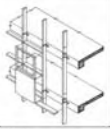
1.2 La classe zero

La classe zero comprende tutti gli edifici che racchiudono quegli elementi di innovazione tecnologica che porteranno nel tempo alla definizione dei caratteri costitutivi della facciata continua, essa non è descritta nel dettaglio in questo saggio

1.3 Prima classe

1.3.1 Tecnologia e linguaggio della facciata continua

Le facciate di prima classe si caratterizzano per l'impiego di sistemi di supporto della facciata indipendenti dal sistema portante dell'edificio. La diffusione dell'alluminio e l'affinamento delle tecniche di lavorazione consentono di produrre profili complessi che, uniti alle tecniche di prefabbricazione, danno vita alla facciata continua.
Particolarmente importante è notare come si possa iniziare a riconoscere lo sviluppo di un linguaggio compositivo basato sull'espressione strutturale di geometrie e proporzioni degli elementi tecnologici costituenti la facciata stessa. Ne sono esempi il Lake Shoere Drive di Mies Van de Rhoe (1948) o la Lever House di SOM (1956).
Le principali caratteristiche di questa classe sono così schematizzabili:

Facciata – Classe Prima		
Sistema	Telaio metallico con montanti e traversi in vista	
Posa in opera	A elementi singoli 	A pannelli 
Riduzione dei ponti termici	Miglioramenti con l'introduzione del taglio termico (1970)	
Fissaggio dei vetri	Attraverso un sistema di pressori meccanici.	
Adattamento alle sollecitazioni termiche	E' necessario prevedere degli ancoraggi che consentano il recupero delle deformazioni in più direzioni assiali.	

Un importante esempio per questa classe è dato dal grattacielo Pirelli di Giò Ponti a Milano del 1959. In esso sono riconoscibili i fondamentali tratti tecnologici e si possono evidenziare le criticità dovute al comportamento termo energetico, per questo motivo è stato scelto come scheda principale di riferimento per la prima classe.

Fig 1.1 Grattacielo Pirelli

Strutturalmente si tratta di un edificio con struttura portante in cemento armato dove la realizzazione di quattro setti principali portanti ha permesso l'adozione di un sistema di facciata completamente svincolato dalla struttura portante e realizzato totalmente in alluminio per le notevoli caratteristiche di leggerezza e durabilità nel tempo. Attraverso un sistema strutturale particolarmente innovativo l'edificio assume la sua composizione definitiva già attraverso gli elementi di elevazione ed i solai, rendendo così il sistema di facciata un elemento che chiude verticalmente lo spazio reso libero fra i solai mediante un sistema curtain wall che risulta incernierato alla base di ciascuno di essi.
Nella facciata del grattacielo Pirelli compare l'elemento *Spandrel*: una pannellatura opaca alla quale viene abbinato un vetro monolitico sulla faccia esterna, per mantenere una continuità visiva con le superfici vetrate trasparenti.
Il valido effetto estetico, che dona alla facciata una grande luminosità e armonia, presenterà però nel tempo notevoli problemi termoigrometrici dovuti principalmente alla grande formazione di condensa. Si può quindi mettere in evidenza che, se da un lato la prima classe rappresenta una importante svolta dal punto di vista del linguaggio, dall'altro evidenzia alcune fra le limitazioni della tecnica proprie del tempo, comportando quindi problematiche legate sia al comportamento termodinamico che alla tenuta agli agenti atmosferici. Questi aspetti verranno migliorati ed in parte risolti grazie alle innovazioni tecnologiche degli anni seguenti, introducendo soluzioni progettuali che non modificheranno l'impianto di base ma saranno orientate in maniera mirata alla soluzione dei problemi specifici. Nascono quindi progressivamente due importanti soluzioni tecniche, illustrate a lato, per migliorare la tenuta all'acqua e al vento e per il controllo del fenomeno dei ponti termici, mentre gli schemi principali compositivi rimangono inalterati. Queste innovazioni possono essere chiamate "di prodotto", introducendo aspetti sempre più spesso nascosti nel dettaglio interno dei componenti. I materiali principali rimangono l'acciaio, l'alluminio e le gomme per le guarnizioni di tenuta che però negli anni sono state oggetto di modifiche volte al miglioramento prestazionale. Sia attraverso il miglioramento delle tecniche industriali di produzione di profilati e lastre, sia attraverso il controllo delle tolleranze di progetto, nascono inoltre i primi sistemi modulari totalmente prefabbricati, come nel caso della facciata in alluminio dell'Alcoa Building di Pittsburg. In base alle date orientative di introduzione sul mercato delle nuove soluzioni tecniche, si può definire un periodo storico che va dal 1950 ai primi anni 70, all'interno del quale la facciata continua raggiunge buoni livelli di efficienza e di potenziale prefabbricazioine in pannelli modulari. La disponibilità industriale delle vetrocamere isolanti completa il quadro di raggiungimento della efficenza prestazionale e della tenuta all'aria ed al vento, caratterizzando quindi tutti gli aspetti di tecnica e tecnologia che vanno ad identificare le facciate di prima classe. E possibile quantificare i miglioramenti energetici portati dalle innovazioni precedentemente descritte osservando i valori di riferimento per U-Value e G-Value (cfr. par. 2.1.2.4) ottenibili oggi da una facciata di prima classe, confrontati con quelli calcolati via software relativamente al restauro del grattacielo Pirelli che è stato oggetto di caso di studio. Sia i valori di trasmittanza che di fattore solare sono, nel Pirelli, circa 1,5 volte più grandi rispetto a

quelli ottenibili con le moderne soluzioni tecnologiche, a dimostrazione quindi della notevole importanza che aspetti come il taglio termico o la presenza di efficaci vetrocamere hanno nella gestione delle prestazioni ottenibilli. Sotto il profilo del linguaggio si va delineando invece un approccio di lettura tecnologica e strutturale di cui si fanno sostenitori sopratutto Ponti in Italia e Mies in America. Un linguaggio fatto di geometrie e proporzioni, che necessita spesso di spazi ampi fra gli edifici per poter essere interpretato, come dimostra la creazione di una piazza ed il conseguente arretramento rispetto al fronte stradale del Pirelli a Milano o del Seagram Building a New York.
L'applicazione di questo linguaggio delle geometrie e della tecnica, nel quale è di fondamentale importanza sfruttare non solo la trama visiva dell'intreccio montanti - traversi, ma anche la corretta gestione dei materiali, è però di difficile approccio, prestandosi, come rilevato da Michele De Sivo, ad un rischio di omologazione formale[10]; o come rilevato da Fulvio Irace, alla ripetitiva clonazione dei modelli originali[11].
Ne possono essere un esempio la Sear Tower a Chicago (omologazione formale) o la torre Thyssenhaus a Dusseldorf (clonazione di un modello identificativo come la Lever House).

1.3.3 Potenzialità espressiva e criticità del linguaggio del curtain wall

Attraverso l'analisi delle schede progettuali si è cercato di individuare i caratteri principali dell' "espressione" di linguaggio della prima classe. Essa può considerarsi legata principalmente ad una attenzione ai materiali ed alle prospettive che ne definiscono una precisa "espressione" di struttura e geometria.
Si vuole ora cercare di sintetizzare in un unico riferimento il "significato" specifico di tre fra gli esempi prima citati, ai fini di ricavare un quadro di insieme che permetta di individuare alcune caratteristiche dominanti per i sistemi di facciata continua.
Seagram Building: In esso si ha uno dei migliori esempi di linguaggio della facciata continua, come ricorda anche Fulvio Irace[12] "Le proporzioni del curtain wall ricevono inedito spessore e gravità visuale dai profili aggettanti delle travi bronzee e dalla particolare terminazione angolare"
Alcoa Building: Segna la dimostrazione delle potenzialità tecniche dell'alluminio e dell'acciaio. La sua facciata in alluminio stampato è stata la dimostrazione della potenzialità di economica diffusione per una facciata completamente prefabbricata.
Price Tower: Attraverso le ampie superfici vetrate, i frangisole, il piano mezzanino arretrato, in questa torre si può identificare un nuovo rapporto fra gli spazi del costruire.
Quello che Wright amava chiamare "*un albero uscito dalla foresta*[13]", può essere considerato come l'embrione per una concezione di facciata che si svincoli dai rapporti di espressività con la struttura. Il Seagram e l'Alcoa potrebbero quindi esser interpretati come momenti differenti, quasi rappresentassero l'uno la sintesi di linguaggio per questo tipo di curtain wall, l'altro l'inevitabile rischio di avviarsi verso soluzioni formalistiche legate alla diffusione di massa di questa tecnologia costruttiva. E' interessante quindi riportare due differenti critiche espresse nei confronti dell'opera Newyorkese di Mies van Der Rohe, la prima mossa da Robert Venturi che ne parafrasò il motto *Il meno è il più* in *Il meno è noia*[14]; la seconda espressa da Louis I. Kahn che, pur cogliendone l'essenza disse "*La sola cosa che rimane da fare per certi architetti che ne sono gelosi, è di rifarlo in argento*"[15] .
Queste parole, che sicuramente colgono lo stimolo al dibattito sull'architettura moderna che si andava sviluppando in quegli anni, potrebbero essere interpretate come segnale di criticità nell'approccio di linguaggio della facciata continua, dando spazio ad una intepretazione del linguaggio di prima classe come caratterizzato da una espressione strutturale che appartiene a importanti modelli di riferimento, ai quali la restante architettura tende spesso a uniformarsi in una sorta di ripetizione acritica.
Pur raggiungendo quindi in alcune realizzazioni punte elevatissime di estetica, questo linguaggio si può prestare al rischio di speculazione formalistica, alla banalizzazione in "*scatola di vetro*"[16].
La Price Tower, il terzo esempio precedentemente isolato, può inserirsi in questo contesto attraverso il tentativo di reinterpretare la facciata facendola dialogare non più con la struttura ma con lo spazio interno ed esterno.
Si può quindi interpretare l'opera di Wright riconoscendo i primi segnali di una composizione volta a dare espressione di movimento dei volumi che si rifletta a sua volta nella espressione della facciata, aprendo quindi nuove strade di rinnovamento per il linguaggio. Tornando ora di un passo indietro si riporta l'attenzione agli aspetti caratteristici dei sistemi di prima classe.
Principalmente attraverso gli esempi portati delle opere di Mies van der Rohe, si è riconosciuta la strada aperta verso un linguaggio di facciata basato sulla interpretazione geometrica sia della stuttura portante dell'edificio che dei telai di supporto per i vetri. Egli definisce l'esatto proporzionamento per i profili ed i componenti della facciata continua, creando regole di geometria

e prospettiva attraverso le quali gestire l'espressione strutturale. Nel suo linguaggio sfrutta travi ad I saldate all'acciaio nero che copre il pilastro per ottenere un effetto di fuga prospettica che, nelle sue parole, esprime lo scheletro strutturale.[17]

In Mies quindi il rivestimento deve svelare la natura tecnica e tipologica dell'edificio a cui si riferisce. Nel 1950 egli affermava: "Alcuni sono convinti che l'architettura passerà di moda e sarà sostituita dalla tecnologia, ma tale convinzione non è basata su idee chiare perchè accade proprio l'opposto:non appena la tecnologia raggiunge la piena realizzazione, trascende nella architettura[18] Questa estetica della facciata come espressione strutturale si ritrova anche nel Pirelli di G.Ponti, in cui la trama di facciata è parte di una comunicazione di caratteri che lui stesso aveva definito, fra essi se ne possono ricordare l'essenzialità, l'invenzione strutturale, l'incorruttibilità, l'illusività.

Di due di questi caratteri è interessante riportarne la descrizione che egli stesso dava: Essenzialità, quando nell'opera non v'è nulla da aggiungere e nulla da togliere, e nell'espressione della architettura moderna quando, quando l'architettura si identifica con la struttura. Incorruttibilità dei materiali: attributo esclusivo e rivelazione della tecnica d'oggi contro l'invecchiamento, vecchia essenza d'una architettura più naturale che tecnica.[19]

Da un punto di vista invece puramente tecnologico il grattacielo Pirelli, come detto, mostra numerose problematiche di natura termoigrometrica che, altre a esprimersi nei confronti della tenuta all'aria ed all'acqua, determinano sostanzialmente un rendimento energetico molto basso, come evidenziato anche dalle simulazioni software condotte. L'evidenziazione di questi aspetti non dimostra però unicamente l'importanza delle innovazioni tecnologiche resesi negli anni disponibili, ma anche la necessità di una loro accurata progettazione. Riferendosi in particolar modo alle prestazioni energetiche relative alla trasmissione del calore, l'analisi condotta sul Pirelli ha infatti evidenziato l'accuratezza che i moderni strumenti di indagine possono garantire (si pensi al dettaglio con il quale è stato possibile studiare gli effetti di ponte termico dovuti alla cartellina esterna di protezione all'acqua), e che possono quindi contribuire significativamente al raggiungimento di elevate prestazioni del sistema stesso.

Sempre rimanendo nel tema delle innovazioni tecnologiche volte al miglioramento delle prestazioni è ulteriormente interessante effettuare un confronto fra le sezioni orizzontali dei montanti di facciata del Seagram Building e dell'IBM Building. Entrambi gli edifici hanno una facciata continua a montanti e traversi in cui si legge chiara l'espressione di linguaggio della prima classe. Le due facciate però, separate tecnologicamente di circa venti anni, hanno prestazioni completamente differenti, in virtù dell'introduzione sia del taglio termico nel profilo, sia della vetrocamera. Analogamente a quanto rilevato nella particolare geometria aggettante del profilo del Pirelli, è ragionevole pensare che anche la trave esterna ad I possa portare a picchi di flusso che difficilmente possono essere contrastati anche dai moderni materiali poliammidici con cui si realizzano i tagli termici. Ancora una volta quindi si può dimostrare la necessità di un supporto di analisi che consenta di indagare accuratamente i fenomeni termici, per poter garantire il raggiungimento di una adeguata prestazione, contestuale all'espressione linguistica e formale.

1.4 Seconda classe

1.4.1 Tecnologia e linguaggio della facciata strutturale

Le facciate di seconda classe si caratterizzano per due sostanziali modifiche alla tecnologia descritta nella prima classe:

- La sostituzione del sistema di ancoraggio dei vetri che passa dai pressori meccanici al fissaggio adesivo con silicone strutturale.
- L'introduzione di vetri riflettenti a controllo solare (cfr. par 2.1.2.2)

Questo insieme di tecnologie e materiali permette lo sviluppo di un nuovo linguaggio compositivo, caratterizzato anche da una estremizzazione di due opposti aspetti quali la trasparenza totale o la riflessione totale, a seconda del tipo di vetro impiegato.

Le principali caratteristiche di questa classe sono riassunte nella tabella seguente:

Facciata – Classe Seconda		
Sistema	Telaio metallico con montanti e traversi nascosti alla vista.	
Posa in opera		A piè d'opera
		In stabilimento
Riduzione dei ponti termici	Ottime prestazioni dovute alla notevole riduzione delle parti metalliche esposte all'esterno	
Fissaggio dei vetri	Attraverso ancoraggio chimico con silicone strutturale	
Adattamento alle sollecitazioni termiche	Ottime per le caratteristiche di deformabilità proprie del silicone strutturale	

La principale innovazione tecnologica di questa classe è pertanto rappresentata dall'introduzione del fissaggio adesivo dei vetri attraverso il silicone strutturale, spesso chiamato anche giunto siliconico.

Si tratta di un polimero avente la catena "base" (polisilossano: Si-O-Si-O-Si) costituita da atomi di silicio anzichè di carbonio. Esso può essere realizzato mono o bicomponente, variandone quindi le modalità di indurimento in funzione delle necessità di posa in opera. In particolar modo, il sigillante siliconico è l'unico materiale in grado di garantire un incollaggio di tipo strutturale dei vetri al telaio, dal quale deriva il nome stesso "facciata strutturale" per questi sistemi. Nel dettaglio questa tecnica di fissaggio si compone di un sistema a telaio costituito da montanti e traversi, analogo concettualmente a quello utilizzato per i sistemi di prima classe. I profili hanno però delle sezioni modificate e perdono completamente il meccanismo a pressori meccanici per il fissaggio del vetro.
Quest'ultimo viene fissato al telaio a mezzo del descritto giunto siliconico, riducendo quindi quasi completamente la parte metallica esposta all'esterno. L'operazione può essere condotta sia in stabilimento sia in opera, anche se spesso quest'ultima soluzione non viene applicata per la difficoltà di controllo sulle ridotte tolleranze di lavorazione che il giunto siliconico richiede. Dal punto di vista termico ed acustico questo sistema offre molti vantaggi, infatti poichè le strutture metalliche di sostegno non risultano essere esposte all'esterno, si limita la trasmissione di calore e vibrazioni tra gli ambienti interni e l'esterno. Possono essere invece considerati degli svantaggi la maggiore difficoltà di posa in opera e la dipendenza dello strato sigillante in silicone dalle caratteristiche igrotermiche del sito, che obbligano spesso ad effettuare test sperimentali per la verifica delle prestazioni di progetto. Anche in questa classe è possibile quantificare i miglioramenti da un punto di vista energetico, confrontando i valori di riferimento per U-Value e G-Value (cfr. par. 2.1.2.4) ottenibili oggi da una facciata di seconda classe, rispetto a quelli calcolati via software relativamente alla Biblioteca di Francia riportata nella macroscheda di progetto. La decisione di utilizzare questo edificio, che non ha vetri riflettenti, (presenti nel progetto originale presentato da Perrault), deriva dalla particolarità tecnologica del suo sistema di facciata. La dilatazione dimensionale del profilo per ottenere il controllo della temperatura della vetrocamera, evitando quindi ogni fenomeno di condensazione, ha di fatto creato un particolare costruttivo di grande interesse per la verifica delle proprietà del giunto siliconico. Benchè l'introduzione di particolari strati di coating (cfr. par. 2.1.2.2) dedicati al controllo solare possa -come ovvio- modificare sostanzialmente il valore di G-Value, tuttavia senza modificare la prestazione in termini di conduzione di calore del sistema facciata, è importante considerare i valori di trasmittanza termica. Questo parametro può in una facciata altamente prestazionale raggiungere gli 1,5 W/m^2K e nonostante il corrispondente valore calcolato per la Biblioteca di Francia sia superiore a quello massimo ottenibile, esso dimostra l'efficacia del giunto siliconico. Va infatti tenuto conto delle grandi dimensioni del profilo analizzato, dovute alla necessità di creare una cavità della vetrocamera pari a 65 mm. Nonostante queste condizioni sfavorevoli, il sitema nel suo complesso raggiunge una trasmittanza pari a 2,54 W/m2K, valore confrontabile con quello di una facciata di prima classe, e sicuramente molto migliore di quanto si sarebbe potuto ottenere da un fissaggio meccanico con pressori.Il giunto siliconico può quindi essere considerato una efficace innovazione tecnologica, alla quale corrisponde inoltre una trasformazione di linguaggio: la possibilità di smaterializzare i telai di supporto, di creare superfici continue piane o curve può portare a nuove sperimentazioni di forma, come nelle opere postmoderne di Johnson, Pelli, Jhan, Pei, o a più recenti tentativi di comunicazione mediatica, come in alcuni esempi di Nouvel o C. de Portzamparc, o ancora Kohn Pedersen & Fox.

Fig 1.2 Biblioteca di Francia

Bisogna ricordare che in ogni caso il rischio di formalismo può rilevarsi anche in questo linguaggio, la cui immagine di modernità ne ha spesso favorito una diffusa applicazione, supportata anche dalla standardizzazione dei componenti operata dall'industria, che ha rischiato di amplificare a dismisura la diffusione di anonimi edifici caratterizzati unicamente da un effetto di monolite riflettente. Nonostante però il rischio di cadute formali, la facciata strutturale può prestarsi ad eleganti espressioni di esteti-

ca, come nel caso del 333 Wacker Drive di Kohn Pedersen & Fox a Chicago, una elegante scultura monolitica il cui volume vetrato curvo emerge da una base rivestita in lastre di pietra.

1.4.3 Espressione e criticità della facciata strutturale

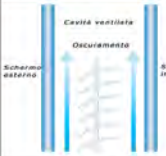
Come visto la facciata di seconda classe è tecnologicamente caratterizzata dalla introduzione del silicone strutturale e dalla possibilità di utilizzare vetri riflettenti a controllo solare.
Queste due caratteristiche concorrono ad un sostanziale miglioramento del rendimento energetico globale del sistema ad al tempo stesso, da un punto di vista compositivo, permettono non solo la smaterializzazione del telaio di supporto, ma anche la virtuale unione di tutte le lastre in una estetica afferente ad una compatta superficie planare (in particolar modo raggiungibile studiando un'unica soluzione cromatica per i vetri riflettenti ed il silicone). Questa facciata può quindi divenire un oggetto plasmabile, intersezione di rigidi piani geometrici, come nella Allied Bank di H.Cobb o la Bank of China di I.M.Pei, o viceversa caratterizzata da superfici curve, quasi giganteschi schermi, come nel Renassaince Center di John Portman o nel 333 Wacker Drive di Kohn Pedersen & Fox. E' quindi possibile in questo contesto interpretare l'impiego della facciata strutturale attraverso i suoi caratteri espressivi connotati dalla possibilità di ottenere una forma composta, utilizzando manipolazioni formali fatte di proiezioni, rotazioni e traslazioni. Viene quindi messo in evidenza, attraverso questi caratteri, lo sviluppo di una complessità tipica della nostra epoca, che non permette più di leggere in modo univoco la carica simbolica attraverso la quale può rappresentarsi un edificio alto. La facciata strutturale può quindi interpretarsi in questo studio di una espressione di forma composta, oggi forse ancor più rappresentato dalla ricerca sulla forma decostruita. Ricordando le parole di Mark Wigley al proposito appunto del movimento decostruttivista : "*Questa è una architettura di rottura, deformazione, scarto e distorsione, piuttosto che di demolizione, smantellamento, rovina, decomposizione o disintegrazione*.[] la forma segue la deformazione"[20].
La ragione fondante dell'espressività di linguaggio quindi, pur derivando sempre da aspetti tecnologici, inizia a far proprie, sopratutto nell'uso delle superfici specchianti, anche qualità più legate ad una volontà di definire la propria presenza attraverso il coinvolgimento delle immagini che in essa si rispecchiano. Si tratta di un approccio complesso, in cui il rischio di una interpretazione formalistica è certamente elevato. Si possono al proposito ricordare le parole di Daniela Colafranceschi che, riferendosi alla Biblioteca di Francia di Dominique Perrault, commenta: "*In che modo distinguere l'opera di Perrault dalle infinite, volgari semplificazioni e declinazioni del tema del curtain wall, diretta derivazione dei principi del movimento moderno, che affollano massicciamente con le loro pareti specchianti la città contemporanea*[21]"
In questa trattazione non è la risposta specifica a questa domanda a esser oggetto di dibattito, ciò che più preme è capire quindi come si vada delineando, per la corretta interpretazione dei linguaggi di facciata, una necessaria attenzione non solo alla ricerca di espressività, ma anche alle differenti ragioni che ne possono costituire il fondamento. Nella espressione strutturale rilevata nei sistemi di prima classe questo aspetto era relativamente di facile comprensione; nei sistemi di seconda classe esso è invece più potenzialmente legato ad aspetti differenti, che possono permettere di indirizzarsi verso percorsi di rinnovamento per il linguaggio. Al riguardo di quest'ultima intepretazione può essere interessante ricordare un altro concetto espresso da Colafranceschi: "*Il vetro, è un materiale antico, ha permesso un'articolazione più ricca dei volumi, ha rotto l'integrità della massa, liberato la struttura e sospeso i piani, ha conquistato più spazio, conquistato la luce e inglobato la natura*.[] *..è possibile pensare a punti di arrivo nuovi, ad un nuovo modo di concepire la rivelazione all'esterno: sforzando di trovare un senso ed un'estetica di nuove trasparenze*"[22].
Considerando opere come il progetto concorso per la Tour Sans Fins di J.Nouvel o la LMVH di Christian de Portzamparc è possibile trovare la parete esterna considerata effettivamente come un dispositivo ottico, trasparente o riflettente, in grado di svelare lo scheletro della struttura o di amplificare le immagini provenienti dall'ambiente circostante o ancora di proiettarne di nuove. Pur se questi aspetti sono tecnicamente applicabili anche a sistemi di facciata di prima classe, è interessante rilevare come sia attraverso la superfice continua della facciata strutturale che essi probabilmente possono esprimersi al meglio. Nelle prime realizzazioni essa non è ancora in grado tecnologicamente di trasmettere e comunicare immagini, ma già si intravedono le possibilità future, che si esprimeranno in realizzazioni come la torre Kpn Telecom di Renzo Piano a Rotterdam, che integra installazioni luminose integrate in ogni pannello di rivestimento, trasformando la facciata in un gigantesco schermo animato di diffusione immagini alto 22 metri. Le caratteristiche di linguaggio fin qui indicate possono quindi essere di stimolo verso una più approfondita ricerca nei temi che si stanno attualmente affiancando alla facciata, e che Eric Howeler definisce come

"*mediatic*"[23].
Si è rilevato quindi che i tratti costitutivi dei linguaggi di prima e seconda classe possono non essere necessariamente connessi ad aspetti direttamente tangibili come la tecnica strutturale; sarà quindi possibile per i nuovi sistemi di facciata esplorare aspetti connessi a nuove tematiche, allo stesso modo di come i sitemi di seconda classe ed in seconda battuta anche quelli di prima classe potrebbero trovare nuove espressività nei confronti della comunicazione mediatica
Si ricorda però che il linguaggio della terza classe è coinciso con lo studio di tecnologie che hanno portato ad una chiusura perimetrale totalmente vetrata, in apparenza completamente planare in virtù di soluzioni tecnologiche che portano montanti e giunzioni al minimo spessore. Essa inoltre, pur focalizzando il suo linguaggio sugli aspetti come visto legati alla dinamicità della forma, o di comunicazione mediatica, consente un potenziale ottimo controllo anche della prestazione energetica, dimostrando come la tecnologia stia giungendo a rendere disponibili soluzioni sempre più improntate a questi aspetti, che risulteranno infatti predominanti nei sistemi classificati di terza classe.

1.5 Terza classe

1.5.1 Tecnologia e linguaggio della facciata doppia pelle

Le facciate di terza classe si caratterizzano per una trasformazione morfologica concernente la duplicazione delle superfici vetrate per ottenere fra di esse una intercapedine di ventilazione. Gli esempi di edifici riportati in questa categoria sono pertanto accumunati dalla presenza di un sistema di facciata a doppio strato con ventilazione, comunemente indicato come "doppia pelle".

<table>
<tr><td colspan="3">Facciata – Classe Terza</td></tr>
<tr><td>Sistema</td><td colspan="2">Doppia pelle costituita da due sistemi di facciata di prima o seconda classe, separate da una intercapedine con ventilazione di aria</td></tr>
<tr><td>Posa in opera</td><td> 

A elementi singoli
A pannelli</td><td>Le due pelli costituenti il sistema possono essere realizzate sulla base di schemi tecnologici di prima e seconda classe. Nell'intercapedine, in funzione del suo spessore e del tipo di compartimentazione, possono essere disposti elementi per il passaggio delle persone il cui grado di permeabilità all'aria dipende dai requisiti di progetto.</td></tr>
<tr><td>Riduzione dei ponti termici</td><td colspan="2">Ottima se la presenza dell'intercapedine disaccoppia completamente le due pelli.
Da valutarsi con indagini approfondite nel caso le due pelli siano fra di loro collegate</td></tr>
<tr><td>Fissaggio dei vetri</td><td>Attraverso ancoraggio chimico con silicone strutturale</td><td>Attraverso pressori meccanici</td></tr>
<tr><td>Adattamento alle sollecitazioni termiche</td><td colspan="2">Variabile in funzione delle condizioni al contorno e delle richieste di progetto</td></tr>
</table>

Essa può essere considerata un'evoluzione delle facciata vetrata tradizionale di prima o seconda classe nella quale, attraverso la citata duplicazione delle superfici vetrate, si realizza una intercapedine di spessore variabile dove l'aria viene fatta circolare per migliorare le prestazioni termoenergetiche del sistema.
E' importante in questa fase specificare come la presenza di due facciate "sovrapposte" si differenzi dai sistemi come quello adottato nella Biblioteca di Francia di Dominique Perrault che, seppur realizzati con un doppio strato di lastre di vetro con interposta aria o altri gas, sfruttano l'intercapedine creata secondo il principio della vetrocamera(cfr.par.2.1.2.4), mantenendo un unico sistema di supporto (e quindi una pelle).
I primi studi su di una doppia facciata con un sistema di ventilazione meccanica risalgono al 1849 da parte di Jean-Baptiste Jobard, direttore del museo industriale di Bruxelles. Lo schema da lui studiato prevedeva la circolazione di aria calda d'inverno e fresca d'estate per ottenere un miglior isolamento termico[24].
I primi veri esempi però di un sistema di facciata a doppia pelle possono essere considerati la Steiff Machine Hall a Giengen, in Germania, del 1903, o la Citè de Refuge di Le Corbusier del 1929. Sopratutto nell'opera di Le Corbusier si può apprezzare ciò che egli chiamava "*il muro neutralizzante*", ossia una chiusura esterna in doppia vetrata con circolazione d'aria, a testimonianza del concetto della "*estetica della macchina*"[25], con il quale egli intendeva rappresentare l'innovazione tecnologica che essa stessa celava al suo interno. I moduli infatti, attraverso un sistema di circolazione dell'aria, dovevano risultare condizionati garantendo condizioni climatiche ottimali agli occupanti. La mancata realizzazione del sistema,(dovuta a questioni di budget) unita all'irraggiamento solare, portava conseguentemente le camerate, durante certi periodi, al surriscaldamento, rendendo quindi necessaria l'installazione in un secondo tempo di aperture e brise soleil che ebbero l'effetto di distruggere l'estetica della chiara facciata a vetri. Questa esperienza può dimostrare che la decisione di utilizzare un simile sisteme comporta una esatta conoscenza di ogni aspetto tecnico, economico e prestazionale. Rimane inoltre evidente come errori di progettazione in questo campo portino necessariamente ad una forte alterazione compositiva dovuta ai componenti adottati per ripristinare l'efficienza climatica dell'edificio. Studi scientifici in questo settore sono successivamente apparsi sotto la spinta delle crisi energetiche del 1973 e del 1979. Dedicando particolare attenzione alla ricerca in questi campi[26] si è giunti, sul finire degli anni '80, alla diffusione di edifici che adottavano questa tecnologia in maniera efficiente.La rea-

lizzazione di queste facciate può permettere un risparmio energetico in grado di ammortizzare il costo maggiore della costruzione anche su tempi di ritorno ridotti, senza considerare inoltre che in questo caso la vita dell'edificio può risultare maggiore, avendosi una completa separazione dagli effetti degli agenti atmosferici ed inquinanti[27]. Ovviamente l'intero progetto complessivo dell'edificio deve essere indirizzato nel suo insieme al risparmio energetico e allo sfruttamento dell'energia solare ricordando che anche la ventilazione e le strategie connesse al condizionamento giocano un ruolo predominante nel bilancio termico del sistema doppia pelle. Per questi motivi una univoca definizione delle prestazioni energetiche di una facciata di questo tipo è di difficile espressione, variando spesso in funzione delle tipologie. E' possibile in ogni caso dare una indicazione dei principali parametri relativi al comportamento globale in termini di isolamento termico ed acustico, nonchè del fattore solare, per una facciata doppia pelle rispetto ad una facciata convenzionale (di prima, seconda o terza classe).

Fig. 1.3 Debis Tower

Sotto il profilo del linguaggio architettonico l'adozione di una doppia pelle ha posto e pone tuttora il progettista di fronte a nuove sfide e problemi. La portata della innovazione tecnologica disponibile è talmente vasta che ne risulta difficile un inquadramento all'interno di una univoca corrente di linguaggio. Sarebbe forse troppo banale ricondursi aprioristicamente alla architettura *High Tech*, poichè con questo termine spesso si è portati a identificare il rischio di passare da un uso ragionato ed efficiente delle nuove risorse, ad un uso che, come ricorda Banham[28] può divenire unicamente dispendioso e, potremmo aggiungere, non definito dal sostegno di una chiara interpretazione di linguaggio. Quello a cui si assiste, e che si vorrebbe dimostrare con gli esempi successivi, è che il linguaggio potenzialmente *High Tech* di questi sistemi si è andato via via allontanando dal "*senso estetico della composizione*"[29], assumendo spesso il ruolo di laboratorio test, cercando sempre più le prestazioni a scapito della ricerca di linguaggio. La doppia pelle si prefigura quindi come ideale campo di sperimentazione dei rapporti fra innovazione tecnologica e linguaggio. Attraverso le schede e gli esempi riportati si intende effettuare una panoramica sui suoi principali tipi di applicazione con lo scopo di capire in quale modo essi si stiano diffondendo nel panorama architettonico, come essi influiscano nella composizione della facciata e quali siano le prestazioni da essi ottenibili.

1.5.3 Espressione e criticità della facciata doppia pelle

L'analisi dei sistemi di terza classe attraverso la lettura degli esempi precedentemente descritti, ne può rilevare una poliedrica espressione, spesso scollegata dal contesto architettonico. Questi aspetti si possono riscontrare osservando le differenze fra la predominanza di componenti tecnologici nell'RWE Tower di Ingehoven, la cristallina trasparenza del City Gate di Karl Petzinka, l'espressione di multiforme cromatismo del GSW Headquarters di Sauerbruch & Hutton e dell'Arag Tower di RKW & Partners. Inoltre non sempre il sistema in doppia pelle viene esteso a tutti i piani di facciata dell'edificio, configurandosi quindi talvolta come un elemento aggiunto per il quale diviene difficoltosa la gestione compositiva con le restanti parti dell'organismo edilizio. La nascita dei sistemi doppia pelle può quindi effettivamente configurarsi come una trasformazione morfologica, il raddoppio della superficie vetrate, volto al miglioramento delle prestazioni energetiche, in cui prevalgono però i caratteri di espressione tecnologica relativi agli elementi che la compongono. Il livello di complessità tecnica e la necessità di cambiare gli schemi progettuali in funzione sia delle prestazioni richieste che delle condizioni climatiche, hanno spesso portato a realizzazioni molto differenti fra loro, talvolta effettivamente prive di una effettiva riconoscibilià di linguaggio tanto che, se durante il modernismo le superfici vetrate, per la loro imponente diffusione, erano state definite "*scatole di vetro*"[30], si potrebbe ora analogamente parlare a volte di "*scatole energetiche*". Nella ricerca di una interpretazione per questa espressione poliedrica, potrebbe essere possibile relazionarsi al fenomeno di delocalizzazione che alcuni autori rilevano nella architettura contemporanea.
Michele Costanzo, associava ad esempio questo aspetto ad un fenomeno di nomadismo architettonico: "*le valenze della localizzazione, non trovano più una loro conseguente espressione, trasmettendo all'oggetto una apparenza*

di neutralità sospesa"[31]
Senza però volersi inserire nel dettaglio di questo dibattito, si vuole partire da un punto base, l'evidenziazione di una non univoca espressione di linguaggio per i sistemi in doppia pelle, per cercare di proporre alcuni concetti che possano essere di aiuto nella identificazione di caratteri di linguaggio più facilmente riconoscibili.
Considerando la complessità tecnologica di un sistema doppia pelle all'interno del panorama *High Tech*, può al proposito essere ricordata una interpretazione di Hans Hibelings: "*presenze architettoniche, sorte per spazi senza luogo, andranno a loro volta a costituire una differente identità di luogo, una nuova qualità di spazio, un nuovo concetto di estetica*[32].
In questo contesto quindi la potenzialità della progettazione architettonica della doppia pelle, può essere inserita in un ambito di rinnovamento delle tematiche sulle quali il linguaggio stesso si basa. Essa infatti, sfruttando le possibilità di controllo climatico, può dare degli stimoli ulteriori per una nuova tendenza nelle relazioni ed interazioni del sistema di rivestimento con l'ambiente naturale circostante, sfruttando questi rapporti per una mutata interpretazione di linguaggio. I recentissimi esempi della Swiss Re o della City Hall, entrambi di Foster, o la Torre Agbar di Nouvel, che verranno descritti al par. 1.6, dimostrano come sia possibile trattare la facciata doppia pelle non come una serie di superfici piane a rivestimento di quella che era chiamata la "scatola di vetro", ma renderla un elemento unico, che gestisce e regola i rapporti energetici e formali fra paesaggio naturale e paesaggio costruito. In ultimo, osservando il sistema da un punto di vista unicamente tecnologico si è notato come ciascuno degli esempi riportati comprendesse soluzioni progettuali o schemi di funzionamento differenti.
Le molteplici configurazioni disponibili, dotate ciascuna di differenti prestazioni e campi di utilizzo, anche se possono essere identificate come potenziale aspetto critico nella gestione degli elementi della composizione, possono essere invece interpretate come elementi di base per una razionale progettazione energeticamente orientata, a supporto quindi di differenti caratteri espressivi del linguaggio, volti ad un dialogo energetico fra interno ed esterno.
Partendo da questi spunti si concentrerà ora l'attenzione sulla caratteristiche proprie della terza classe, proponendola non solo come tecnologia ma anche come morfologia sulla base della quale sviluppare la Quarta classe, all'interno della quale si definiranno ed analizzeranno le nuove proposte interpretative volte alla ricerca di una forte identificazione di linguaggio per i sistemi in doppia pelle, con particolare riferimento sia all'utilizzo di materiali non standard, sia all'applicazione al tipo architettonico del grattacielo.

1.6 Quarta classe

1.6.1 Proposte di espressione e caratteri di linguaggio

L'introduzione di una quarta classe nasce dalla volontà di identificare una linea di continuità nella definizione dei caratteri per un potenziale sviluppo dei linguaggi dei sistemi doppia pelle.
Nel paragrafo 1.4 si è visto come l'affermazione dei caratteri per i sistemi di seconda classe sia coincisa con la sperimentazione di un nuovo materiale, il silicone strutturale, che ne ha reso possibile un cambio di linguaggio ed una più elevata prestazione energetica. La terza classe (cfr. par. 1.5) ha invece visto la trasformazione morfologica da pelle singola in doppia pelle, attraverso il raddoppio delle superfici vetrate e l'introduzione di sistemi di ventilazione fra di esse. La poliedrica espressione rilevata in questi sistemi può inoltre, come precedentemente introdotto, dare spazio ad una ricerca di nuove proposte volte alla individuazione di elementi forti che ne possano contraddistinguere il linguaggio.
La quarta classe nasce quindi con l'intento di interpretare queste proposte definendo quei caratteri di linguaggio che, attraverso caratteristiche tecnologiche ed elementi della composizione, possano esprimerne la ragione di "pelle energetica". Il termine Ragione infatti significa letteralmente "ciò che viene addotto per spiegare qualcosa"[33]. Con esso si vuole indicare la necessità, già introdotta nella discussione sui sistemi di seconda classe, della focalizzazione dell'attenzione al fatto che l'espressione di linguaggio per un sistema di facciata possa nascere dalle precise ragioni che ne hanno sviluppato la tecnologia. Se rianalizziamo in questa chiave i linguaggi dei sistemi di facciata continua, la prima classe, possiamo notare come l'espressione sia insita nel sistema costruttivo stesso caratterizzandosi principalmente dagli aspetti legati alla tecnologia costruttiva. Nei sistemi di facciata strutturale, la seconda classe, il raggiungimento di una superficie planare ha ancora una componente fortemente tecnica, ma già si apre verso l'interpretazione di ulteriori aspetti, come quelli precedentemente accennati al riguardo della comunicazione mediatica. Questo aspetto può pertanto risultare importante in quanto rappresenta il primo momento in cui la ragione espressiva trova nuovi punti di riferimento. Entrambe le prime due classi in ogni caso sono correlate ad aspetti di tecnologia strutturale che via via scomponevano l'edificio

in sistemi resistenti gerarchizzati in base a precise funzioni: telaio principale dell'edificio, telai per i sistemi di facciata, sottotelai per il supporto dei vetri. Gli elementi compositivi caratterizzanti i linguaggi di queste classi pur essendo a volte studiati in base a funzioni energetiche, o comunicative, si esprimevano quindi come visto secondo una ragione la cui base era prevalentemente tecnica, intendendo con questo termine l'origine e l'espressione principale della facciata stessa. Assumendo ora la doppia pelle (la terza classe) come morfologia per lo sviluppo della quarta classe, la ricerca di motivazioni per sintetizzarne un linguaggio identificativo, contrariamente a quanto visto per le classi prima e seconda (ma non dimenticando certo le consolidate basi tecniche sulle quali esse si fondavano) si sviluppa in risposta ad una esigenza di controllo climatico volta al contenimento dei consumi energetici. Questa soluzione progettuale quindi cambia obiettivo, per orientarsi verso una definizione più complessa e articolata, che tiene conto appunto delle nuove esigenze sul comfort ambientale e sul clima, potendosi pertanto definire come pelle energetica per rafforzare, sfruttando l'analogia anatomica della pelle biologica, il carattere di adattabilità a differenti sollecitazioni ambientali quali l'irraggiamento solare o la temperatura. Anche la più semplice delle doppie pelli infatti, priva di sensori ed automatismi in grado di modificarne in modo continuo le prestazioni in funzione della temperatura e dell'irraggiamento, possiede

Fig. 1.4 L'involucro della Swiss Re Tower.

due differenti modalità di funzionamento: quella estiva e quella invernale in grado di adattarsi alle due differenti macrosituazioni climatiche che caratterizzano la vita di un edificio come anche di un individuo.

Al proposito si ricordano anche le parole di Wigginton,il quale definisce con il termine Intelligent Skin " *un insieme di elementi della costruzione, confinati nella zona di protezione dagli agenti atmosferici, che realizza la funzione di adattarsi dinamicamente alle variazioni climatiche, per mantenere il comfort con il minimo dispendi di energia*"[34].
Questa pelle energetica può essere ora espressa attraverso una nuova interpretazione linguistica, applicabile alle nuove tecnologie, che parte dalla ridefinizione del rapporto fra spazio interno e spazio esterno. Esso viene interpretato in termini di dialogo fra ambiente costruito ed ambiente naturale, permettendo quindi una rinnovata interpretazione del sistema doppia pelle, visto come mezzo tecnologico per la realizzazione pratica del concetto di involucro che già è stato introdotto nelle introduzioni della tesi. E nell'obiettivo di ridefinire i rapporti fra gli spazi si possono accogliere le tesi riguardanti i mutamenti della società attuale, nei riferimenti di alcuni autori alla progressiva perdita di senso dell'ambiente costruito. Se da un lato si potrebbe introdurre questo fenomeno fra le possibili cause della poliedrica espressione di linguaggio della facciata doppia pelle, proprio da questo punto si vuole partire per identificare e raccogliere le mutate condizioni di contesto, senza dimenticare l'insegnamento del passato sull'importanza della innovazione tecnologica in architettura. Michele Costanzo fa notare come il progressivo concentrarsi dell'attenzione al valore dell'involucro (inteso in questo caso come puro sistema di rivestimento), all'affermarsi della parete come entità autonoma, soggetto della composizione attraverso il suo interporsi nella dialettica fra spazio interno e spazio esterno, possa portare alla crisi della indissolubilità di tale rapporto[35]. Come rileva Daniela Colafranceschi " i volumi edilizi affidano la loro appartenenza ai luoghi e significato soprattutto al loro involucro come elemento autonomo dalla spazialità interna dell'edificio e dal contesto urbano"[36]. Questa indipendenza dal contesto può essere però sfruttata per valorizzare i rapporti fra gli spazi, gli ambienti, in funzione dei loro rapporti energetici e formali. Attraverso il ridefinito concetto di involucro è possibile sfruttare l'innovazione, i materiali, le trasparenze e le traslucenze per rivalorizzare il costruito in funzione dei suoi rapporti, come detto energetici e formali, non più con il contesto ma con l'ambiente naturale. Già esempi come la Swiss Re di Foster o la torre Agbar di Nouvel possono essere visti come primi tentativi di trattamento del rivestimento esterno non solo come superficie senza soluzione di continuità, ma anche come "pelle di dialogo" fra gli ambienti e non più necessariamente come una superficie autono-

ma, geometrica seppur demandata ad un compito di comunicazione verso l'esterno.

Fig. 1.5: Le "Biome" in ETFE dell'Eden Project

Ed anche parlare di superficie di rivestimento porta a rilevare come la chiusura di un edificio non sia più (per alcune sue parti) una semplice facciata, ma appunto un elemento continuo che, sfruttando anche forme organiche o geodetiche, può minimizzare l'area esposta ed attuare quindi un primo contenimento in termini di disperdimento energetico.
Il progetto per la City Hall di Foster a Londra è infatti per esempio partito proprio da questo primo punto base, la definizione di una forma che a parità di volume minimizzasse l'area di superficie. Si diffondono sempre più edifici in cui effettivamente il sistema di facciata classicamente conosciuto non esiste più, trasformato in ciò che ora si può definire un involucro attivo, in cui le funzioni tecnologiche climatiche oltre che di protezione dagli agenti atmosferici possono creare una forte espressività in sostituzione od affiancamento ai temi attuali della comunicazione multimediale, integrata nella pelle architettonica. Con queste premesse viene quindi introdotta la quarta classe i cui principali caratteri sono sintetizzati nella seguente tabella, analoga concettualmente a quella introdotta per le precedenti classi. Fra le caratteristiche per questa espressione di linguaggio è stato introdotto anche un nuovo materiale: l'ETFE, illustrato successivamente al par 3.4.2, che può in base alle sue caratteristiche sostituirsi alle parti trasparenti dove non è richiesta necessariamente la completa visione dell'esterno. Di esso verranno riportati esempi attraverso i quali si identificherà la concreta possibilità di utilizzare, ai fini della chiusura esterna, questo materiale attraverso il quale è possibile rendere il sistema doppia pelle più leggero fisicamente e maggiormente "smaterializzato" nella sua interepretazione di linguaggio. Gli esempi non si riferiranno direttamente al tipo architettonico finora esaminato ma sono stati scelti per il loro forte grado di innovazione a livello di materiali, tecnologie, sistemi progettuali.

1.6.2 La definizione di involucro

Definiti i caratteri principali di linguaggio si passa ora all'analisi nel dettaglio del concetto di involucro su cui esso si basa. Nella introduzione esso è stato definito come: Insieme di elementi tecnologici di separazione fra ambiente costruito ed ambiente naturale, caratterizzato da una continuità spaziale su tutto l'edificio e da un comportamento energetico dinamico in risposta alle variazioni climatiche. L'involucro è quindi in primo luogo un oggetto unico, al cui interno sono racchiusi i volumi ed i sistemi di collegamento costituenti l'edificio. La forma può essere derivata in parte anche in base alle prestazioni che si vogliono ottenere, ed è questo uno degli aspetti più innovativi attuabili dal linguaggio di quarta classe. L'involucro può consentire una composizione in parte svincolata dallo sviluppo delle piante e della sezione dell'edificio, senza forzatamente introdurre contaminazioni formalistiche ma semplicemente sfruttando la nuova forma di espressività precedentemente definita come pelle energetica. E' importante inoltre notare come l'aver definito l'involucro come un elemento di rivestimento capace di rispondere in modo dinamico alle sollecitazioni climatiche, motiva la necessità di una specifica progettazione in tal senso orientata. Analogamente alle problematiche strutturali, anche per questa situazione soprattutto la fase metaprogettuale diviene quindi molto importante, influenzando non poco la forma e la composizione finale del sistema. Per questo motivo successivamente alla definizione dei caratteri della quarta classe è stata condotta una analisi del comportamento energetico dei sistemi in doppia pelle in modo da disporre di indicatori metraprogettuali e metodi di predimensionamento energetico che consentano nel complesso di disporre di adeguati strumenti per il controllo di questa fase progettuale. Ritornando ora alle caratteristiche del sistema involucro, nel rappresentarlo come elemento di separazione fra gli spazi è utile introdurre il concetto di biosfera: " comp. di Bio-e sfera; 1950 sf. Insieme delle parti dell'atmosfera, della idrosfera e della geosfera in cui sono presenti organismi viventi" (cit. diz. Palazzi Folena). Essa quindi altro non è che l'ambiente in cui viviamo, lavoriamo, ci muoviamo, ed all'interno di essa risiedono tutte le costruzioni create dall'uomo. E' quindi possibile inquadrarle come sottoinsiemi della biosfera naturale; l'ambiente costruito in particolare può

essere configurato come una biosfera artificiale. In questo ambiente costituito da differenti biosfere, naturali ed artificiali, il rivestimento dell'edificio assume quindi nettamente il ruolo di un "semplice" elemento divisorio cui può essere demandata la funzione principale di controllo climatico. Il rivestimento esterno, che comunemente si identifica nella facciata verticale e nelle chiusure orizzontali, può in un certo senso evolvere in involucro, rappresentando la separazione di due biosfere, quella naturale, dell'ambiente che ci circonda, e quella artificiale, dell'ambiente costruito. L'applicazione di questi concetti può trovare un grande campo di sperimentazione sopratutto attraverso la attuale interpretazione del grattacielo come città verticale. K.Yeang in particolare, architetto abile nel confrontarsi con ambienti antropizzati, si è rivolto ad una tipologia di difficile declinazione, il grattacielo, denunciandone la necessità di una continuità fra gli spazi ed una interconnessione fra di essi che non abbia la rigida attuale compartimentazione[37]. Analizzando alcuni esempi nella storia come la torre Johnson Wax di F.L. Wright (1947) o il progetto per la City Hall di Khan (1968), si vede inoltre come questa teoria non proponga concetti completamente nuovi, ma necessitasse di strumenti tecnologici adatti alla sua realizzazione. L'involucro, gestore del clima,può quindi integrarsi a supporto della interconnesione fra gli spazi e del loro rapporto con l'ambiente naturale.Inoltre l'edificio in altezza consente di sfruttare agevolmente i gradienti termici per la ventilazione naturale, prestandosi così ad un efficace sfruttamento degli apporti energetici naturali. Yeang con la sua decompartimentalizzazione della forma costruita propone l'opportunità di ricostruire la forma del grattacielo in funzione di una vivibilità direttamente derivata dall'ambiente urbano. In questa ottica quindi si inseriscono non solo diversi sistemi di collegamento o modalità di scomposizione degli spazi, ma può anche essere introdotto un elemento di chiusura di forma organica, l'involucro. Ne possono essere un esempio la Swiss Re di Norman Foster o la Torre Agbar di Jean Nouvel, dove il sistema di rivestimento può, in base alla tesi introdotta, essere considerato un primo esempio di involucro.

1.6.3 Le possibilità offerte dai nuovi materiali nello sviluppo dell'involucro di quarta classe

Nel 1995 Grimshaw & Partners in collaborazione con Arup progettava le serre botaniche dell' Eden Project, utilizzando un materiale innovativo per quel campo dell'edilizia, l'ETFE, che ha consentito di realizzare delle leggerissime cupole, (chiamate biome) ove ricreare le condizioni climatiche speciali richieste dai differenti tipi di flora che vi dovevano essere preservati. Esse si compongono di una leggera intelaiatura di supporto in acciaio, le cui maglie vengono chiuse da speciali cuscini in pressione in cui la membrana è costituita da strati di ETFE. Questo materiale, il cui nome è l'acronimo di EtilTetraFluoroEtilene, derivato dal campo delle tensostrutture, è leggero, resistente ed in grado di essere prodotto in differenti livelli di trasparenza; di esso verrà data una ampia descrizione al par. 3.4.2. La sua utilizzazione in cuscini in pressione consente di ottenere un elemento di chiusura con ottime prestazioni in termini di trasmittanza equivalente e fattore solare, sia per le caratteristiche stesse del materiale, sia per la possibilità di ottenere ampi strati aria con funzione di buffer termico. Pur essendo l'Eden Project un ambiente totalmente differente da un edificio progettato per essere vissuto da grandi flussi di persone, la flessibilità geometrica del cuscino in ETFE, unita alla sua leggerezza ed alle caratteristiche termodinamiche, ne possono stimolare la sperimentazione sui sistemi di rivestimento destinati ad ambienti di vita quotidiana. In particolare una sua applicazione alla morfologia in doppia pelle può consentire di interpretare i caratteri dell'involucro di quarta classe precedentemente introdotto. Le caratteristiche precedentemente introdotte e la possibilità di coprire grandi luci, si possono infatti adeguatamente prestare nella interpretazione e trasformazione della doppia pelle come elemento leggero di dialogo climatico fra gli spazi.Nel panorama attuale dell'architettura stanno inoltre nascendo progetti, come gli stadi di Monaco e di Pechino degli svizzeri Herzog & De Meuron che mostrano un utilizzo di questo materiale, risolvendone i problemi legati alla sicurezza ed al comportamento meccanico. L'ETFE può quindi considerarsi un materiale che, sfruttato attraverso particolari cuscini pressurizzati, può permettere di sperimentare il ruolo di pelle energetica che il sistema involucro vuole rappresentare, prestandosi inoltre alla interpretazione di una forma che coincide con la commozione. Nell'ultima parte della ricerca si passerà quindi all'analisi il comportamento energetico del cuscino in ETFE applicato ad un sistema doppia pelle, con l'obiettivo di valutare i vantaggi che questa soluzione può dare nella sperimentazione del sistema involucro.La verifica di queste prestazioni è infatti di primaria importanza nell'ambito di una progettazione energetica volta al controllo climatico ed allo sfruttamento degli apporti enegertici naturali. L'analisi condotta è stata svolta attraverso metodi di simulazione teorici, uteriori sviluppi potranno quindi indirizzarsi verso la realizzazioe di un modello sperimentale sul quale effettuare monitoraggi

Note

1) Irace F. , Micheal S. , Richard R. La città che sale: I nuovi grattacieli americani, Arcadia, Milano, 1988, p. 20
2) Huxtable A.L. in: Irace F. , Micheal S. , Richard R. La città che sale: I nuovi grattacieli americani, Arcadia, Milano, 1988, p. 11
3) De Sivo M. La parete e la finestra, Alinea, Firenze, 1997, p. 14
4) Oesterle-Liebe-Lutz-Heusler, Double skin facades, Ed. Prestel, New York, 2001 p. 7
5) Irace F. op.cit. p. 20
6) De Sivo M. op.cit
7) Irace F. op.cit
8) De Sivo M. op.cit p.14
9) Howeler E., Grattacieli, Rizzoli-Skira, New York, 2003 p. 9
10) De Sivo M. op.cit p. 14
11) Irace F. op.cit. p. 20
12) F Irace, op.cit. p. 18
13) Zevi B. op. cit. p. 234
14) Venturi R. in Duprè J. Grattacieli, Black Dog & Leventhal Pub. , New York, 1996
15) Khan L. in Irace F. op.cit. p. 19
16) Portoghesi P., Postmodern, Electa, Milano, 1982, p. 87
17) Romanelli F.op.cit. p. 187
18)Romanelli F. Scapaccino E. Dalla finestra al curtain wall, Officina edizioni, 1979
19) G. Ponti Espressione del grattacielo Pirelli in costruzione a Milano, Domus, marzo, 1956
20) Wigley M. Deconstructivist Architecture, MoMa, New York,1988 p. 17
21) Colafranceschi D. op.cit. p. 108
22) Colafranceschi D. op.cit. p. 109
23) Howeler E. op. cit. p.158
24) Saelens D. Energy performance assessment of single storey multiple skin facades, PhD. Thesis 2002. p. 7
25) Jencks C. Le Corbusier, Jaca Book,Milano, 2000 p. 216
26) Saelens D. op.cit. p. 8
27) Oesterle-Liebe-Lutz-Heusler, Double skin facades, Ed. Prestel, New York, 2001 p. 26-29
28) Banham R. in Benedetti A. Norman Foster, Zanichelli,Bologna, 1988, p. 14
30) Portoghesi P. op.cit. p. 87
31) Costanzo M. in: Hibelings H. Supermodernismo: L'architettura nell'età della globalizzazione, Castelvecchi, Roma, 2001, p. 11
32) H.Hibelings. op. cit. p. 17
33) Cit. Dizionario della lingua Italiana, Palazzi Folena
34) Wigginton M. Intelligent Skin, Architectural Press, Oxford, 2002, p. 23
35) H.Hibelings. op.cit. p. 57
36) D.Colafranceschi, op.cit. p. 13
37) Yeang K., The green skyscrapers, Prestel, Monaco, 2001 p. 56

Capitolo 2

2.1 Caratteristiche del sistema doppia pelle

In questo capitolo viene svolta una analisi dei principali aspetti termodinamici ed aeraulici riguardanti i sistemi in doppia pelle, riferendosi ad esempi esistenti, dati di monitoraggio ed analisi previsionali reperibili in letteratura, con lo scopo di delineare una serie di indicatori metaprogettuali che verranno inoltre utilizzati anche per determinare gli schemi su cui basare lo sviluppo di un prototipo sperimentale di involucro di quarta classe (cfr. par. 1.6.2), sul quale testare le prestazioni dei cuscini in ETFE (cfr.par. 1.6.3). Lo schema morfologico della doppia pelle, che caratterizzava anche i sistemi di facciata di terza classe, è stato infatti adottato come elemento su cui fondare i caratteri di linguaggio per la quarta classe. Dal punto di vista tecnologico l'adozione di una soluzione simile consente, se adeguatamente progettata, l'ottenimento di ottime prestazioni dal punto di vista energetico e di comfort ambientale. Per questi motivi essa può essere considerata una rappresentazione dello stato dell'arte nei sistemi di protezione dagli agenti atmosferici ed è stata utilizzata come schema morfologico su cui basare lo sviluppo del sistema involucro all'interno della quarta classe. E' quindi con l'obiettivo di supportare i caratteri peculiari di questo linguaggio che viene svolta una accurata analisi del sistema doppia pelle in modo giungere alla definizione di indicatori per lo sviluppo della fase metaprogettuale del sistema.
E' infatti noto[1] che in una progettazione tesa al risparmio energetico ed al controllo climatico intervengono molte parametri aleatori che possono influenzarne l'efficacia, non ultima la errata interpretazione dei meccanismi fisico tecnici che sono alla base del funzionamento di queste doppie facciate. Spesso inoltre il progetto della facciata viene sviluppato quando le decisioni di livello impiantistico per l'organismo edilizio sono già state prese, vanificando quindi le potenzialità di una progettazione integrata che, è bene ricordarlo, non significa necessariamente l'integrazione nella ventilazione dell'intercapedine con gli impianti di climatizzazione, ma può anche semplicemente rappresentare la scelta di impianti energeticamente meno potenti e potenzialmente meno invasivi agli effetti della composizione architettonica.
E' però importante infine ricordare che gli indicatori sono di fatto degli strumenti flessibili, definiti per il supporto progettuale dell'involucro ma che possono essere utilizzati anche per la progettazione delle facciate di terza classe.

2.1.1 Tipologie di compartimentazione

Una facciata a doppia pelle è essenzialmente costituita da due superfici trasparenti, separate da una cavità che realizza un canale d'aria.
Partendo dall'esterno si possono riconoscere i seguenti elementi:
- Una "pelle esterna" generalmente realizzata da un vetro monolitico stratificato
- Una intercapedine (o cavità) di spessore variabile per il canale d'aria,
- Una "pelle interna" che può essere realizzata anch'essa in totale trasparenza(tipicamente vetrocamere isolanti) oppure attraverso un tamponamento in parte opaco.

Gli eventuali sistemi di schermatura solare vengono posizionati all'interno della cavità (risultando così protetti dagli agenti atmosferici), e sempre all'interno della cavità avviene la gestione dell'energia solare: accumulo durante il periodo invernale (con funzione di isolamento termico o di recupero di calore), disperdimento durante il periodo estivo (riduzione dei carichi di condizionamento). Di fondamentale importanza quindi risulta essere la presenza dell'aria e la sua circolazione nella intercapedine creata. Questa intercapedine può inoltre essere in comunicazione con gli ambienti interni dell'edificio, consentendone la ventilazione naturale (nel periodo estivo), oppure integrarsi con l'impianto di climatizzazione dell'edificio, permettendo in alcuni casi il recupero di calore (nel periodo invernale). Il raddoppio della superficie vetrata porta inoltre vantaggi anche dal punto di vista acustico, principalmente dovuti al maggiore isolamento che l'aria contenuta nell'intercapedine consente di ottenere. Diviene quindi evidente[2] che le combinazioni progettuali ottenibili sono numerose, con il rischio di generare ambiguità di scelta, soprattutto perchè non tutte le scelte possibili garantiscono risultati energetico-acustici ottimali.In particolar modo queste ultime prestazioni in termini di isolamento acustico dipendono quasi esclusivamente dal tipo di compartimentazione adottata e dallo spessore dell'intercapedine, mentre le prestazioni energetiche sono funzione di più parametri comprendenti: i percorsi dell'aria, i moti convettivi, le condizioni al contorno del sito (presenza di vento o rumore esterno) e le condizioni al contorno ambientali. L'analisi di questi parametri inizia pertanto focalizzando l'attenzione in primo luogo sulle tipologie di compartimentazione, ossia le modalità secondo le quali avviene la suddivisione del volume di intercapedine fra le due pelli (definite nel seguito come pelle 1 per la parte interna, pelle 2 la parte esterna)
Esse possono essere riassunte in quattro schemi principali: *Box window, Shaft Box,Corridor Facades, Multistorey*.

2.1.3 La ventilazione

Una volta definite le tipologie di compartimentazione e di vetri (non riportati in questo saggio) che caratterizzano una doppia pelle, devono essere definite le caratteristiche principali della ventilazione nell'intercapedine, ossia quale sia il percorso che l'aria segue e quale possa essere il suo tipo di moto convettivo (naturale o forzato).

2.1.3.1 I percorsi dell'aria

L'importanza di questo parametro è legata al fatto che esso oltre a poter influenzare molto la temperatura dell'aria circolante nella cavità, porta a differenti comportamenti energetici che, differenziati fra inverno ed estate, sono i principali "motori" verso l'ottenimento del risparmio energetico. Generalmente si seguono quattro schemi per il movimento dell'aria, esterno-esterno, interno-interno, esterno-interno (ricambio d'aria) ed interno-esterno (sfogo d'aria).
A seconda dello schema di percorso che si intende adottare per l'aria è necessaria una differente disposizione dei tipi di vetro che andranno a formare pelle 1 e pelle 2. Nei processi termici di una facciata doppia pelle la modellazione degli scambi energetici dovuti alla ventilazione è uno degli aspetti più complessi, soprattutto se il moto convettivo deriva unicamente dal guadagno termico[3]. Numerosi studi, sopratutto nel campo della fluidodinamica, sono in atto in questo settore con lo scopo di ottenere degli efficaci modelli di calcolo che possano permettere di ottenere dei risultati quantitativi sulla base di implementazione software di metodi numerici. Lo studio di dettaglio del fenomeno termofluidodinamico legato al moto dell'aria non è oggetto di questa tesi, sono state però analizzate e descritte qualitativamente le caratteristiche dei moti ed alcune teorie di base legate allo studio dei fenomeni di guadagno termico. Sebbene non riportata nel dettaglio in questo saggio questa parte è stata di fondamentale importanza per definire la strategia ed il modello di calcolo che si è poi utilizzato nell'ultima parte della tesi.

2.2 Le prestazioni energetiche del sistema doppia pelle

Uno dei principali motivi per il quale la ricerca sui sistemi in doppia pelle è particolarmente attiva risiede come si è detto nella possibilità di ottenere miglioramenti energetici durante il corso dell'anno[4]. La determinazione di questi rendimenti è ovviamente data da un bilancio economico che deve tenere conto del maggiore

costo dovuto ad una seconda pelle esterna, e del risparmio ottenibile anno dopo anno in virtù della minore potenza richiesta agli impianti di climatizzazione[5]. In questa sede non verrà però svolta una analisi di tipo economico, ma si concentrerà l'attenzione sulle prestazioni energetiche che un simile sistema consente di ottenere, in relazione alle condizioni al contorno relative al clima ed alla giacitura del sito. Lo studio di queste prestazioni viene valutato a partire da dati sperimentali, campagne di monitoraggio e simulazioni software al fine di poter dare una interpretazione di quali possano essere le combinazioni migliori dal punto di vista prestazionale. Per procedere ad un simile studio è necessario in primo luogo identificare due situazioni tipo che rappresentano la variazione media dei parametri termici ed energetici durante l'anno. Come evidenziato dalle norme in materia (cfr. norma ISO 15099), è infatti possibile interpretare le differenti condizioni ambientali (principalmente temperatura ed irraggiamento) attraverso la suddivisione in due categorie definite come regime estivo e regime invernale. (per le caratteristiche di temperatura ed irraggiamento cfr. norma UNI 103349). Diviene necessario indagare nel dettaglio i due casi climatici al fine di definire le linee guida e le ipotesi di base che guideranno lo sviluppo e le analisi del sistema proposto nella terza parte di questa ricerca.

2.2.1 Regime estivo

Questo regime è caratterizzato da elevati valori dell'irraggiamento solare per la determinazione dei quali si può far riferimento alla norma UNI 10349 Dati climatici. Per la determinazione invece delle temperature e dei coefficienti di scambio convettivo che sono necessari per completare le condizioni al contorno nel caso di una analisi termica, si può far riferimento alle norme ISO 15099 e EN ISO 10077[6]
La determinazione delle condizioni di comfort degli ambienti interni, sulla base dei quali si determina anche il set point[7] degli impianti di climatizzazione, si basa su valori di riferimento[8] reperibili in letteratura, o facenti capo alla norma ASHRAE 55-81, che definisce la temperatura interna Tai = 25 +-1 C°, se la velocità dell'aria inferiore a 0,25 m/s, mentre in caso di velocità dell'aria comprese fra 0,25 e 0,8 m/s si può salire fino a 30 C°; oppure ancora alla equivalente norma UNI EN ISO 7730.
Per ottenere una riduzione dei carichi termici di condizionamento[9] consentire la ventilazione naturale degli ambienti[10], è necessario in primo luogo tenere in considerazione il comportamento degli elementi frangisole posti all'interno dell'intercapedine. Essi infatti sono spesso necessari per il controllo sia della luminosità che del fattore solare ma, (cfr. dati sperimentali derivanti da uno studio condotto da Permasteelisa[11]), a seconda delle loro caratteristiche fisiche possono provocare un elevato scambio di tipo radiativo fra frangisole e vetro interno con conseguente riduzione anche notevole della capacità di dispersione termica della facciata. Infatti se le lamelle frangisole raggiungono temperature molto elevate, gli scambi termici radiativi possono divenire consistenti ed anche un aumento significativo di portata dell'aria (per diminuire la temperatura delle lamelle stesse), può non portare significative riduzioni al flusso termico risultante, che entra nell'ambiente. Nella stessa campagna di monitoraggio precedentemente citata è stata fatta variare la portata di aria di ventilazione su due giorni estivi con condizioni al contorno molto simili, notando che raddoppiando la velocità dell'aria, e conseguentemente anche la portata, i flussi termici scambiati sono diminuiti solo del 40%. Ne consegue quindi che l'utilizzo di frangisole in condizioni estive deve essere attentamente valutato, soprattutto per quanto riguarda i materiali con i quali essi sono realizzati, per cercare di prevenire fenomeni di eccessivo surriscaldamento.
Per una valutazione qualitativa della doppia pelle in regime estivo è possibile riferirsi ad alcuni studi e campagne di monitoraggio disponibili in letteratura[12]. Nella tesi in particolare si sono indagati alcuni casi di studio quali: Victoria Life Insurance Company di HPP Architect a Dusseldorf, l'RWE Building di Ingehoven & Partners a Essen , e l'edificio Siemens Building a Dusseldorf.

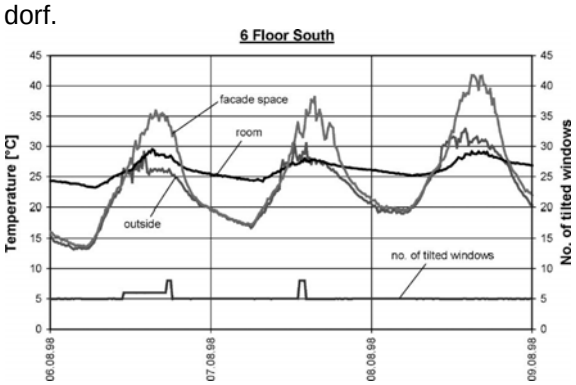


Fig. 2.1 Monitoraggi estivi della temperatura, Siemens Building

L'analisi di questi casi di studio dimostra come sia effettivamente possibile ottenere una efficace ventilazione dell'intercapedine, finalizzata a mantenere su livelli accettabili la temperatura interna anche in caso di impianti di climatizzazione ridotti od addirittura assenti (Siemens Building). Questi aspetti sono però condizionati ad un efficace controllo sopratutto degli elementi di oscuramento posti in intercapedine.

Inoltre l'applicazione di una seconda pelle esterna può abbassare il valore complessivo del G-value di facciata. Alcuni autori (Oesterle[13]) ne rilevano un potenziale abbassamento del 10% ma questo dato è in realtà, come evidenziato da H.Manz[14], è molto sensibile agli effetti di miscelazione dei flussi che si possono verificare a seconda della tipologia di compartimentazione. Alla luce di questi dati quindi si possono considerare gli schemi Box window e Corridor facades come critici sotto questo punto di vista, mentre gli schemi Shaf box e Multistorey possono effettivamente raggiungere il valore previsto. Dagli andamenti tipici delle temperature si può apprezzare come, nel periodo estivo, sia relativamente facile ottenere nell'intercapedine di facciata un notevole delta di temperatura rispetto all'esterno (che garantisce quindi il movimento dell'aria per guadagno termico), al punto che spesso si rende necessario sviluppare dei sistemi per prevenirne il surriscaldamento eccessivo (come le aperture sulla pelle esterna realizzate nella Debis Tower a Berlino). E' quindi necessario dimensionare le aperture non solo in funzione della portata di aria che si intende ottenere per guadagno termico, ma anche in funzione del potenziale surriscaldamento dell'aria nella cavità. Potrebbe in questo caso divenire rilevante il fenomeno delle perdite di carico, in letteratura sono però reperibili degli studi[15], dai quali ricavare nomogrammi di riferimento sia per la valutazione del flusso di calore che è necessario contrastare, sia per la valutazione delle perdite di carico.

2.2.2 Regime invernale

In regime invernale la doppia pelle può rivestire due funzioni prevalenti: isolamento termico oppure recupero di calore per l'impianto di climatizzazione. Nel primo caso per raggiungere l'obiettivo è necessario annullare la ventilazione per evitare che il valore dell'U-value complessivo si innalzi. L'aumento di isolamento termico invernale per una sistema doppia pelle è quantificabile in circa il 25% rispetto ad un sistema in singola pelle[16].

2.4 Indicatori metaprogettuali

L'analisi finora condotta sulla base di dati reperibili in letteratura ha fatto emergere un quadro complessivo riguardante il comportamento del sistema doppia pelle in risposta a differenti sollecitazioni in termini di irraggiamento solare, temperature dell'aria, differenti livelli di pressione dell'aria, effetti esterni caratteristici del sito in esame. Le informazioni ottenute sono state in questa fase rielaborate prevalentemente in sintetica forma tabellare con lo scopo di giungere alla definizione di una serie di indicatori che possano andare a supporto della fase di metaprogettazione del sistema a doppia pelle.
Con questa fase si intende pertanto rappresentare il complesso delle scelte necessarie per la predisposizione di uno schema progettuale del sistema, partendo dall'inquadramento di tutte le condizioni al contorno presenti, delineando le prestazioni che si intendono ottenere e successivamente determinando le modalità di ventilazione e di compartimentazione più efficaci da adottare. Il termine indicatore conseguentemente va a identificare uno strumento guida attraverso il quale effettuare sia le predette scelte in termini di schemi e componenti, sia la verifica che esse siano il più possibile orientate a soddisfare i requisiti di progetto. Per questo motivo si è deciso di differenziare questi strumenti, sviluppandoli in modo che, nonostante ciascuno di essi possa essere utilizzato singolarmente, si combinassero sulla base di una proposta unitaria di modalità di approccio per l'elaborazione del sistema doppia pelle. Gli strumenti introdotti si articolano quindi in tre tabelle ed uno schema a blocchi, quest'ultimo illustrato a lato, a identificazione dei citati passi da seguire per giungere alla definizione del layout finale di progetto su cui successivamente effettuare le necessarie analisi energetiche per il dimensionamento finale del sistema e la verifica delle prestazioni.

2.4.1 Schema a blocchi e layout progettuale

Come precedentemente introdotto il complesso degli indicatori è stato studiato in funzione di uno schema a blocchi sfruttabile come base metaprogettuale. Si ritiene quindi necessario in primo luogo definire e descrivere questo schema in quanto elemento caratterizzante del processo di analisi che si è proposto.
In esso sono riconoscibili i dati di ingresso:

- Le condizioni ambientali prevalenti
- Le condizioni al contorno del sito
- Le prestazioni richieste

e le scelte di tipo progettuale:

- La scelta della modalità di ventilazione,
- La scelta della modalità di compartimentazione
- La verifica globale delle prestazioni.

Si configura in questo modo agevolmente la funzione degli indicatori come strumenti operativi per la gestione delle scelte sulla base dei dati di ingresso, in modo da poter giungere correttamente ad una appropriata configurazione

progettuale, che si può identificare con il termine layout progettuale. Passando ora alla descrizione dei moduli che compongono lo schema possiamo notare come nella parte relativa ai dati di ingresso siano presenti, oltre alle prestazioni richieste, due elementi di caratterizzazione del sito in esame. Dalle valutazioni precedenti infatti, come anche dalla analisi tecnologica e morfologica della doppia pelle, si è potuto rilevare come la conoscenza accurata di tutte le condizioni al contorno sia un parametro fondamentale su cui fondare lo sviluppo del layout progettuale. Attraverso le indagini condotte ai punti 2.1.3.2 e 2.4, si è rilevato come la risposta nei confronti del vento e del rumore dipenda principalmente dalla compartimentazione adottata. La risposta alla temperatura ed all'irraggiamento è stata invece rilevata come funzione delle modalità di ventilazione e dal posizionamento dei tipi di vetro, come evidenziato dalle indagini ai punti 2.4.1 e 2.4.2
Su queste basi quindi il complesso delle condizioni al contorno è stato suddiviso in due categorie con l'obiettivo di valutarne correttamente gli effetti in funzione delle differenti caratteristiche tecnologiche e tipologiche della doppia pelle. Le categorie introdotte e presenti nello schema sono le seguenti:

- Condizioni ambientali prevalenti
- Condizioni al contorno del sito

Le condizioni ambientali prevalenti vogliono rappresentare un quadro della situazione in termini di temperature ed irraggiamento solare e si possono definire sulla base dei dati climatici reperibili in letteratura o, per l'Italia, dalla norma UNI 10349.
E' importante ricordare che in questo caso si propone l'utilizzo dei dati numerici per identificare una condizione tipo, detta appunto prevalente, che dia una indicazione media delle caratteristiche climatiche del sito in esame. Per questo motivo si è fatto riferimento a tre condizioni tipo, inserite all'interno dell'indicatore I1
Le condizioni al contorno del sito rappresentano invece le due variabili principali, caratterizzanti il sito del progetto in esame, e che hanno un maggiore impatto nei confronti del sistema doppia pelle: la presenza del vento ed il livello di rumore esterno. Anche in questo caso l'analisi dei dati numerici disponibili deve condurre ad una definizione di una condizione media che orienti il progettista alla necessità di far fronte alla sollecitazione riconosciuta come più critica.
Le condizioni al contorno del sito compaiono quindi nell' indicatore I2, espresse in termini di effetti del vento ed isolamento acustico.
Infine, ritornado alla descrizione dello schema, nella parte relativa alle scelte di tipo progettuale compaiono dei moduli di scelta e verifica che possono consentire operativamente, attraverso gli indicatori metaprogettuali precedentemente introdotti, di ottenere il layout progettuale del sistema doppia pelle.

2.4.2 Indicatori metaprogettuali

L'indicatore è di fatto una tabella sinottica riepilogativa delle interazioni fra prestazioni e sollecitazioni per il sistema doppia pelle, sviluppato per differenti gradi di dettaglio ed utilizzabile come strumento di analisi o di verifica.
L'elaborazione dei primi due indicatori, indirizzati prevalentemente a processi di scelta, si è sviluppata associando ai risultati del complesso di indagini facenti capo ai punti 2.1, 2.2 e 2.3, sia le condizioni ambientali prevalenti, sia le condizioni al contorno del sito, rappresentate dagli effetti del vento e dall'isolamento acustico.

CONDIZIONI AMBIENTALI PREVALENTI	PRESTAZIONI OTTENIBILI	MODALITA' DI VENTILAZIONE
Clima estivo e alto irraggiamento solare	Riduzione del flusso di calore entrante negli ambienti	Naturale con cuscino d'aria esterno Forzata con cuscino d'aria esterno
Clima invernale, bassa temperatura, assenza di irraggiamento solare	Isolamento termico	Assenza di ventilazione
Clima invernale, Bassa temperatura, presenza di irraggiamento solare	Recupero di calore per la climatizzazione degli ambienti	Forzata e integrata con gli impianti con cuscino d'aria interno o ricambio

Fig. 2.2: Indicatore I1.

L'indicatore I1 associa quindi alle condizioni ambientali prevalenti, le prestazioni ottenibili e le corrispondenti modalità di ventilazione. In esso sono pertanto rappresentate le principali caratteristiche riguardanti questi parametri in funzione delle differenti modalità di ventilazione. Scopo dell'indicatore è quindi l'individuazione rapida di una modalità su cui basare le successive scelte di tipo morfologico.

L'indicatore I2 associa alle condizioni al contorno del sito, le tipologie di compartimentazione più adatte a seconda delle differenti sollecitazioni presenti. In questo modo si ottengono informazioni di maggiore dettaglio circa gli schemi di compartimentazione, in particolare orientandosi verso un confronto fra le prestazioni classiche del sistema doppia pelle, quelle energetiche, ed il comportamento in presenza di sollecitazioni esterne che possono compromettere o comunque modificare il rendimento. Va inoltre a questo proposito ricordato che il raddoppio della superficie vetrata non consente unicamente vantaggi dal punto di vista energetico, ma può migliorare anche il comportamento acustico o la gestione di particolari pressioni del vento. Queste differenti prestazioni però spesso non necessitano delle medesime caratteristiche morfologiche, per questo motivo con questo

COMPARTIMENTAZIONE	VANTAGGI	SVANTAGGI	EFFETTI DEL VENTO	ISOLAMENTO ACUSTICO
Box window	Ottime capacità di isolamento invernale. Buone capacità di dispersione di calore estivo	Rischio di miscelazione dei flussi di aria in ingresso ed uscita	Bassa sensibilità alle infiltrazioni in termini di flussi orizzontali.	Blocco della trasmissione del rumore fra i moduli
Corridor	Ottime capacità di ventilazione naturale degli ambienti	Rischio di miscelazione dei flussi di aria in ingresso ed uscita	Alta sensibilità alle infiltrazioni in termini di flussi orizzontali Buon comportamento in ventilazione notturna	Rischio di trasmissione del rumore nel corridoio
Shaft-box	Ottime capacità di dispersione di calore estiva.	Complessità strutturale Scarsa capacità di recupero di calore invernale	Bassa sensibilità alle infiltrazioni in termini di flussi orizzontali	Rischio di trasmissione di rumori nel camino solare
Multistorev	Buona capacità di dispersione di calore estiva Buone capacità di recupero di calore invernale	Isolamento invernale condizionato alla perfetta chiusura dell'intercapedine	Rischio di infiltrazioni in termini di flussi orizzontali. Ottimo comportamento in ventilazione notturna	Buon isolamento dai rumori esterni ma trasmissione dei rumori interni

Fig. 2.3 Indicatore I2

	Tipi di ventilazione						
Moto di convezione	**Naturale**		**Forzata**				
Integrazione impiantistica	Assente		Integrata con gli impianti			Non integrata con gli impianti	
Percorso aria	- Cuscino d'aria esterno	- Sfogo	-Cuscino d'aria esterno	-Ricambio	-Cuscino d'aria interno	- Cuscino d'aria esterno	- Sfogo
Compartimentazioni possibili	-Box window -Shaft box -Corridor facades - Multistorev	-Box window -Shaft box -Corridor facades - Multistorev	-Box window -Shaft box -Corridor facades - Multistorev	-Box window -Shaft box -Corridor facades - Multistorev	-Box window -Shaft box -Corridor facades - Multistorev	-Box window -Shaft box -Corridor facades - Multistorev	-Box window -Shaft box -Corridor facades - Multistorev
Possibilità di ventilare gli ambienti interni	Sconsigliata	Sconsigliata	Consigliata	Consigliata	Consigliata	Sconsigliata	Sconsigliata
Isolamento termico invernale	Buono se la ventilazione è assente	Buono se la ventilazione è assente	Molto basso	Basso	Buono	Buono se la ventilazione è assente	Buono se la ventilazione è assente
Recupero termico invernale	Non applicabile	Non applicabile	Non applicabile	Buono	Ottimo	Non applicabile	Non applicabile
Riduzione carico termico estivo	Ottima	Buona ma grande sensibilità alle perdite di carico	Non applicabile	Non applicabile	Non applicabile	Ottima	Buona ma grande sensibilità alle perdite di carico
Isolamento acustico	Buono	Rischio di trasmissione dei rumori	Non ottimale a causa degli impianti	Non ottimale a causa degli impianti	Non ottimale a causa degli impianti	Buono	Rischio di trasmissione dei rumori

Fig. 2.4 Indicatore I3

indicatore si sono voluti affiancare vantaggi e svantaggi delle differenti soluzioni.
L'indicatore I3 è infine costituito da una formulazione tabellare che, sviluppata principalmente sulla base delle indagini condotte ai punti 2.1, 2.2, 2.3 mette in relazione le tre principali modalità di ventilazione con le caratteristiche morfologiche e le prestazioni ottenibili in un sistema a doppia pelle. Esso si struttura su sette colonne che rappresentano altrettante modalità di ventilazione, e su sette righe nelle quali sono riportate differenti caratteristiche o prestazioni ottenibili. Conoscendo quindi le linee guida principali del layout progettuale è possibile operare un'azione di verifica globale del comportamento della morfologia adottata in funzione delle prestazioni attese.
Sono inoltre evidenziabili i punti critici come ad esempio la possibilità di ventilare naturalmente gli ambienti interni, che non è univocamente applicabile in quanto dipendente dal gradiente termico raggiungibile nell'intercapedine. In particolare fra le scelte relative alle modalità di ventilazione si è tenuto conto anche dell'eventuale integrazione con il sistema impiantistico dell'edificio, aspetto questo che necessita in ogni caso di una verifica specifica in base alle caratteristiche specifiche del progetto in esame.

2.4.3 Proposta di utilizzo

Si vuole ora, proponendo i quattro passi descritti di seguito, descrivere quale possa essere un percorso da seguire per l'utilizzo combinato dello schema a blocchi e degli indicatori metaprogettuali. Si va quindi a identificare una procedura operativa a supporto della fase di metaprogettazione del sistema doppia pelle, tesa alla massimizzazione delle prestazioni energetiche ed orientata quindi all'interpretazione di questo particolare sistema di chiusura come elemento tecnologico del sistema involucro definito nel primo capitolo.

PASSO 1: Definizione delle condizioni ambientali prevalenti, a partire dai dati climatici disponibili per il sito in esame. Questa operazione consiste in una valutazione oggettiva, a partire dai dati numerici reperibili per il sito, dell'andamento dei valori di temperatura ed irraggiamento solare presenti durante l'anno in funzione dell'esposizione, con l'obiettivo di identificare delle condizioni medie che vanno quindi a rappresentare le condizioni ambientali prevalenti.

PASSO 2: Attraverso l'indicatore I1, che le associa alle prestazioni ottenibili, si stabilisce la modalità di ventilazione più adatta. Questa operazione permette quindi di iniziare la procedura di definizione delle caratteristiche morfologiche della doppia pelle, andando a stabilire il primo elemento costituente lo schema di funzionamento, che necessariamente si rifletterà nelle scelte architettoniche riguardanti la futura modulazione del sistema.

PASSO 3: Attraverso l'indicatore I2 si stabilisce la più adatta tipologia di compartimentazione, che deriva in questo caso dalle condizioni al contorno del sito per quanto riguarda la presenza di vento ed inquinamento acustico. Con questa operazione si va a caratterizzare in maniera determinante il layout progettuale del sistema, in quanto la scelta della compartimentazione corrisponde alla definizione del modulo base su cui si sviluppa il sistema, e su cui si andranno a condurre eventuali analisi di dettaglio.

PASSO 4: L'ultimo passo consiste in una verifica globale delle prestazioni ottenibili, identificano la modalità di ventilazione e la tipologia di compartimentazione all'interno dell'indicatore I3, e confrontando fra loro sia le risposte alle differenti sollecitazioni, sia le differenti scelte di tipo morfologico. Il processo di verifica appena descritto permette da un lato di confermare o modificare le scelte adottate, dall'altro di avere un quadro del comportamento del sistema adottato, in funzione della risposta anche a sollecitazioni differenti da quelle per le quali esso è stato espressamente definito. Questo aspetto risulta molto importante in quanto consente di tener conto degli effetti secondari allo schema principale di funzionamento, ma che però in determinate condizioni potrebbero comportare significative perdite di efficienza. Si pensi ad esempio alla efficacia del sistema di compartimentazione multistorey nei confronti della riduzione del carico termico estivo, corrispondente però ad uno scarso isolamento acustico soprattutto per la facilità di trasmissione sonora all'interno dell'intercapedine. E quindi importante ricordare che il risultato finale ottenuto attraverso lo schema a blocchi e gli indicatori metaprogettuali non deve essere inteso a conclusione del processo di analisi della doppia pelle. Il layout progettuale così definito necessita infatti in ogni caso di ulteriori analisi, di tipo numerico o mediante prove di laboratorio, volte alla verifica in dettaglio degli schemi proposti. A completamento quindi del quadro di strumenti di analisi studiati per il sistema doppia pelle, la ricerca prosegue con lo sviluppo di un metodo di predimensionamento energetico che possa in parte supportare la fase di verifica numerica del sistema, senza necessariamente ricorrere a calcoli di tipo fluidodinamico.

Note

1) Oesterle-Liebe-Lutz-Heusler, Double skin facades, Ed. Prestel, New York, 2001 p. 7
2) Saelens D. Energy performance assessment of single storey multiple skin facades, PhD. Thesis 2002. p. 12
3) Infileld D. , Mei L. , Eicker U. "Thermal performance estimation for ventilated PV facades", Solar Energy 76, 2004
4) Oesterle-Liebe-Lutz-Heusler, Double skin facades, Ed. Prestel, New York, 2001 p. 169
5) Saelens D. Energy performance assessment of single storey multiple skin facades, PhD. Thesis 2002. p. 178
6) Norma prEN ISO 10077-1rev - "Thermal performance of windows, doors and shutters - Calculation of thermal transmittance - Part 1: General "
7) Set-point: Temperatura di riferimento sulla base della quale impostare l'impianto di climatizzazione. Cit. in Cappelletti F., Peron F., Porciani L., Romagnoni P. "Prestazioni energetiche di sistemi vetrati", 58° Congresso annuale ATI, 2003 pp.1425
8) Calarco A., Tripoldi D. "L'influenza delle caratteristiche termiche sull'efficienza del processo di "ventilazione naturale", 58° Congresso annuale ATI, 2003 pp.1437
9) Colombari M., De Carli M. "Involucri edilizi trasparenti a ventilazione forzata: Implicazioni impiantistiche, 58° Congresso annuale ATI, 2003 pp.1825
10) Pasquay T. "Natural ventilation in high-rise building with double facades, saving or waste energy", Energy and Buildings 36, 2004
11) Brunello P., De Carli M., Tonon M., Zecchin R. "Modellazione di ambienti climatizzati con sistemi radianti accoppiati a facciate a doppia pelle", 58° Congresso annuale ATI, 2003 pp.1839
12) Pasquay T. "Natural ventilation in high-rise building with double facades, saving or waste energy", Energy and Buildings 36, 2004
13) Oesterle-Liebe-Lutz-Heusler, Double skin facades, Ed. Prestel, New York, 2001 p. 78
14) Manz H. "Total solar energy transmittance of glass double facades with free convection", Energy and Buildings 36, 2004
15) Oesterle-Liebe-Lutz-Heusler, Double skin facades, Ed. Prestel, New York, 2001 p. 98-99
16) Oesterle-Liebe-Lutz-Heusler, Double skin facades, Ed. Prestel, New York, 2001 p 60

Capitolo 3

In questo capitolo si completa il quadro della ricerca tesa al supporto della progettazione energetica, sviluppando e validando un metodo di predimensionamento energetico per il sistema doppia pelle. Successivamente questo metodo è stato utilizzato per l'applicazione su di un prototipo sperimentale di involucro che raccoglie le caratteristiche di innovazione nei materiali introdotte al punto 1.6 e sviluppato sulla base degli indicatori metaprogettuali introdotti al punto 2.4. La necessità di disporre di efficaci strumenti di calcolo energetico per i sistemi in doppia pelle è stata infatti introdotta nel par. 1.6.2 fra gli elementi fondativi per la gestione dei linguaggi di quarta classe. Nel panorama attuale della ricerca scientifica, lo studio di questi strumenti è tuttora oggetto di dibattito e ricerca. Le più avanzate metodologie di calcolo proposte negli ultimi anni hanno spesso fatto riferimento a tecniche numeriche particolarmente sofisticate come quelle della CFD (Computational Fluid Dynamics)[1]. Una loro applicazione ai sistemi doppia pelle può però risultare non conveniente in quanto il grande onere computazionale richiesto porta sì a risultati molto accurati, ma vanificabili dalla incertezza con la quale inevitabilmente si possono conoscere i coefficienti di scambio o la conducibilità e scabrezza dei materiali. Accogliendo quindi le posizioni a favore di metodi meno sofisticati, questo studio si è indirizzato verso un approccio semplificato, sviluppando e validando un metodo di predimensionamento energetico che possa consentire la valutazione del comportamento globale di un sistema doppia pelle sulla base di parametri standard come il fattore solare e la trasmittanza equivalente.
Questa fase della ricerca si è avvalsa della collaborazione dell'Istituto di Tecnologia delle Costruzioni ITC-CNR di San Giuliano Milanese.
Il metodo è stato validato attraverso il caso di studio del progetto Torno International a Milano, realizzato da Dante Benini & Partners ed AFE (Arup Facades Engineering). La procedura di validazione è consistita nel calcolo dei dati relativi alla portata ed al fattore solare globale della facciata ottenuti con il metodo in esame, confrontati con quelli elaborati da AFE in sede progettuale. Una volta verificati i risultati ottenibili, il metodo è stato utilizzato in un prototipo di sistema doppia pelle ibrido in vetro ed ETFE compatibile con la proposta metodologica e tecnologica di involucro precedentemente definita, con l'obiettivo di verificare l'efficacia prestazionale di questo materiale in un sistema tecnologico di doppia pelle ventilata naturalmente.

3.1 Il metodo di predimensionamento energetico

Il metodo di predimensionamento sviluppato si fonda sull'utilizzo di WIS: uno strumento software per la determinazione della caratteristiche termiche dei sistemi vetrati sviluppato dal TNO Building and Construction Research[2], nell'ambito della Commissione Europea, XII Direttorato Generale.
E' stato scelto questo strumento poichè ritenuto il più adatto per una analisi di tipo semplificato di un sistema di facciata ventilato; obiettivo infatti di questo metodo non è l'analisi di dettaglio ma la valutazione del comportamento globale del sistema in base a parametri standard. WIS è in grado di determinare i valori di U-Value, G-value e trasmissione luminosa di sistemi vetrati liberamente assemblabili a partire da un ampio database strutturato in una serie di chiare maschere di input. WIS inoltre possiede la particolare funzionalità di simulare anche la presenza di ventilazione nelle intercapedini, caratteristica che ne ha stimolato l'applicazione sperimentale in un sistema a doppia pelle.
Nonostante WIS incorpori al suo interno un grande numero di elementi base (record) per la scelta del frame e dei componenti del sistema trasparente, rimane possibile definire degli elementi personalizzati sulla base di una maschera vuota e di collegamenti ad altri software di analisi specialistica per la definizione dei dati di input. Questa caratteristica è stata in particolare sfruttata per la definizione dei parametri non presenti all'interno del database ma necessari alla modellazione del sistema doppia pelle: la portata di ventilazione e le caratteristiche termiche del telaio. Di fatto la definizione dei nuovi elementi arricchisce il database originale e va quindi nella direzione di una ulteriore sperimentazione e sviluppo del software stesso.
E' quindi possibile modellare correttamente un sistema a doppia pelle utilizzando WIS come motore di calcolo e definenedo nuovi elementi di database per quanto riguarda il componente telaio (frame), basandosi su condizioni al contorno (environment) derivanti dai dati climatici e valutando separatamente la portata di ventilazione nell'intercapedine. Per gli elementi vetrati e le caratteristiche termofisiche dell'aria di ventilazione si può invece far riferimento ai record già presenti nel database di WIS.
Il flow chart seguente, basato sull' interpretazione della logica iterativa di WIS, descrive lo schema a blocchi del metodo proposto.
In questo saggio non è riportata la descrizione analitica dello schema di funzionamento di WIS, passando quindi direttamente alla validazione del metodo attraverso il caso di studio.

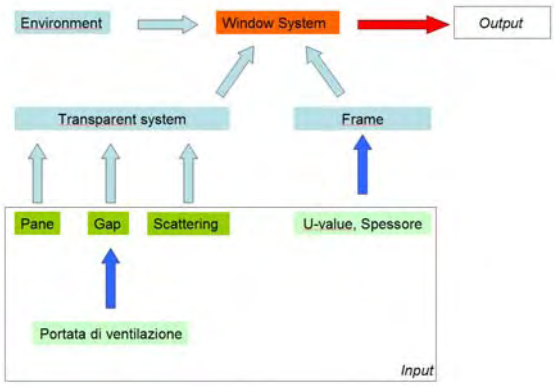


Fig. 3.1 Flow Chart per l'implementazione del metodo proposto

3.2 Validazione del metodo

Il metodo di predimensionamento è stato validato attraverso l'applicazione ad un caso di studio per il quale erano disponibili dati di confronto derivanti da una simulazione termica. Non è stato possibile effettuare il confronto con dati derivanti da campagne di monitoraggio, rimanendo quindi questo aspetto auspicabile per ulteriori verifiche di validazione. Il caso di studio in esame riguarda il progetto di una facciata doppia pelle con compartimentazione multistorey realizzata in Milano dallo studio Dante Benini & Partners, in collaborazione con AFE (Arup Facade Engineering). La disponibilità della relazione di calcolo energetico elaborata da AFE ha reso possibile il confronto e la validazione dei dati ottenuti dal metodo sviluppato
La facciata è composta da una vetrazione esterna in vetro monolitico temprato da 15 mm, una intercapedine di ventilazione di 570 mm ed una facciata interna realizzata con serramenti di alluminio a chiusura della maglia strutturale dell'edificio. Come precedentemente introdotto la compartimentazione è di tipo multistorey, realizzando quindi una unica intercapedine di dimensioni pari a quelle della facciata stessa. Il sistema vetrato di pelle 2 è strutturalmente sostenuto da agganci puntuali ed è completamente disaccoppiato termicamente dalla facciata interna. L'intercapedine di ventilazione è completamente aperta nella parte inferiore, mentre sono disposte delle louvres motorizzate nella parte superiore, consentendo una apertura pari al 95% dell'area dell'intercapedine nella posizione di tutto aperto ed una infiltrazione non superiore al 5% nella posizione di tutto chiuso.
In sede di progetto tutto il sistema è stato modellato termicamente da AFE per mezzo di un sofware proprietario, NATFAC[3], che si basa sulle equazioni del metodo CIBSE[4] combinate

con un modello di flusso d'aria all'interno dell'intercapedine di una doppia facciata.
Questa analisi della facciata termica ha quindi portato alla definizione delle portate di aria (flow rate) dovute al guadagno termico e del fattore solare (G-value), in funzione della variazione delle sollecitazioni climatiche. L'analisi di AFE riguarda il solo caso estivo, senza dare indicazioni circa il comportamento invernale. Risulta quindi importante ricordare che l'obiettivo del metodo di predimensionamento, una volta validato, sarà quello di poter dare indicazioni sul comportamento energetico sia in regime estivo che invernale. I dati ottenuti da AFE sono quindi stati confrontati con quelli ottenuti con il metodo proposto, in particolare il flow rate è stato confrontato con quello ottenuto dal modello numerico implementato su foglio di calcolo Excel: mentre il G-Value è stato confrontato con quello ottenuto da WIS per l'intero pacchetto di facciata.

3.2.1 Calcolo dell'U-Value del telaio

Per la determinazione delle caratteristiche di trasmittanza del telaio si è fatto riferimento al software di analisi termica THERM 5.2. Poichè le bielle e le griglie di manutenzione sono elementi che non ostacolano il passaggio dell'aria, termicamente disaccoppiati dal resto del sistema, si è adottata una schematizzazione del telaio relativamente alla sola facciata interna in elementi di muratura e serramenti di alluminio (pelle 1). Questo permette quindi, nella successiva analisi in WIS, di schematizzare correttamente la facciata strutturale appesa (pelle 2), come un unico elemento trasparente delimitante l'intercapedine. Nelle analisi in Therm sono state assunte condizioni al contorno neutre, derivanti da quanto prescritto dalla norma UNI EN ISO 10077-2: Annex B per le resistenze superficiali dei flussi di calore orizzontali, Annex D per la temperature di riferimento.
Effettuate le analisi, il dato necessario da utilizzare in WIS, ai fini del modello di predimensionamento, riguarda la trasmittanza equivalente (U-Value) del telaio: U=2,41 W/m^{2}K. Therm dispone però di ulteriori dati di output riguardanti principalmente i flussi termici e la distribuzione delle temperature. Attraverso essi è possibile individuare eventuali anomalie e fenomi di ponte termico, che possono peggiorare il valore dell'U-Value. Nel caso in esame ad esempio si è notata principalmente una buona distribuzione delle isoterme di temperatura, mentre osservando il grafico dei flussi termici, si può notare una via preferenziale per il passaggio dei flussi che può essere sintomo di possibile ponte termico.

Fig. 3.2 Isoterme del telaio del Torno Building

Si vede quindi come questo tipo di analisi, se usata in sede di progettazione, possa consentire di ottimizzare il comportamento dei telai sia per la distribuzione delle isoterme, sia per il passaggio dei flussi termici.

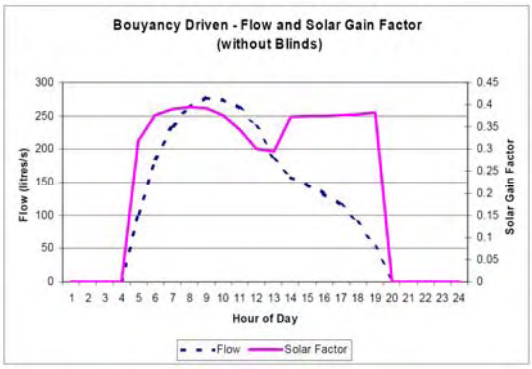
3.2.2 Calcolo della portata di ventilazione naturale

Come precendemente introdotto, la portata di ventilazione naturale è stata calcolata attraverso il metodo di calcolo per pareti ventilate in regime stazionario che è stato descritto al paragrafo 2.1.3.2. Poichè la velocità dell'aria nella intercapedine influenza la distribuzione della temperatura, le equazioni di calcolo andrebbero utilizzate in maniera iterativa attraverso uno specifico ambiente di calcolo come Maple o Matlab. Si è però notato come anche dopo solo due iterazioni i risultati convergesso con un errore che non superava lo 0,005 %. Ciò ne ha quindi permesso l'implentazione manuale su foglio di calcolo Excel per il confronto con i risultati ottenuti da AFE. Rimane chiaro che per una generalizzazione del metodo, soprattutto considerando irraggiamenti differenti, ulteriori sviluppi della ricerca possono indirizzarsi verso la soluzione delle equazioni in un ambiente di programmazione che ne automatizzi le procedure. Definiti quindi i dati di ingresso attraverso le principali normative, i dati di progetto ed i riferimenti ai valori noti di letteratura; effettuando due iterazioni sul valore di temperatura, è stata determinata la velocità di imbocco dell'aria nella intercapedine, in base all'irraggiamento massimo estivo determinato dal prospetto XVII della norma UNI 10349. Conoscendo le dimensioni dell'intercapedine è stata infine calcolata la portata in litri/sec per larghezza unitaria di facciata.
La portata di ventilazione verrà quindi inserita nel campo "Forced ventilation" di WIS permettendo quindi di poter eseguire l'analisi sia del solo transparent system che dell'intero pacchet-

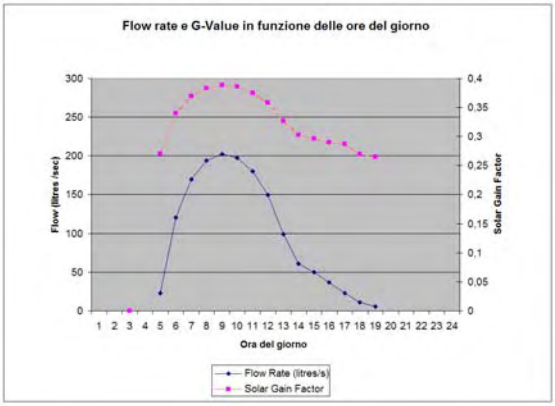
to di facciata (si conosce infatti anche il valore di U-Value del telaio precedentemente calcolato con Therm).

3.2.3 Validazione dei risultati

Una volta in possesso di tutti i dati di input sono state svolte manualmente le analisi per tutti i valori di irraggiamento caratterizzanti le diverse ore della giornata. Per ciascuna ora è stato ricavato il valore di: G-value, U-value, Flow rate.
Dai risultati ottenuti è stato possibile ricostruire l'andamento dei valori sul graff. 3.1, confrontabile con quello ottenuto da AFE con il software NATFAC, graf 3.2



Graf.3.1 G-value e air flow elaborati da AFE


Flow rate e G-Value in funzione delle ore del giorno
Flow (litres /sec)
Solar Gain Factor
Ora del giorno
Flow Rate (litres/s)
Solar Gain Factor

Graf.3.2 G-value e air flow calcolati

Si vede come in condizioni di massimo irraggiamento, corrispondenti alle ore 9, i valori di G-Value su entrambi i grafici siano quasi coincidenti.Nelle ore seguenti i valori rimangono sempre molto vicini, tranne che nella fascia oraria 11-14, dove la curva determinata da AFE evidenzia un punto di minimo. Anche le curve del Flow Rate hanno lo stesso andamento, differendo da quelle di AFE solo per un fattore di scala verso il basso pari a circa 40 l/sec, dovuto principalmente alla differenza in valore assoluto dei dati di irraggiamento da loro utilizzati. Dal confronto dei dati si può quindi dedurre una prima validazione dei risultati ottenibili con il modello di predimensionamento energetico proposto

3.3 Caratterizzazione energetica di una doppia pelle attraverso il metodo proposto

Il confronto dei dati ha quindi permesso di validare i risultati ottenibili dal metodo di predimensionamento. E' dunque possibile utilizzarlo per caratterizzare il comportamento energetico globale di un sistema doppia pelle, considerando il regime differenziato di funzionamento: estivo ed invernale. Il metodo inoltre come visto calcola separatamente la portata di ventilazione e la trasmittanza del telaio, permettendo quindi un ampio grado di flessibilità che ne consente l'applicazione a tutti i tipi di compartimentazione della doppia pelle. Infine la possibilità di definire le caratteristiche di materiali non standard per qualsiasi elemento del sistema, permette la valutazione delle prestazioni energetiche anche in presenza di configurazioni alternative per il sistema in esame. Questo metodo verrà quindi utilizzato per analizzare il comportamento del *modulo tipo* per involucro di quarta classe, dove vengono introdotti i cuscini in ETFE in sostituzione del vetro esterno dell'intercapedine.
Si giungerà quindi alla definizione dei principali parametri termodinamici, valutabili differentemente in base alle condizioni in esame. I due paragrafi seguenti le illustreranno nel dettaglio.

3.3.1 Regime Invernale

Nel regime invernale la doppia pelle può migliorare le caratteristiche di isolamento termico poichè la chiusura delle louvres di apertura ed i bassi valori di irraggiamento determinano l'annullamento della ventilazione, trasformando l'intercapedine da elemento di dispersione ad elemento di isolamento termico. Dalla lettura quindi del valore di U-value nel window system è possibile valutare qualitativamente questo parametro, confrontabile con i valori con i valori, sia sperimentali che analitici, di una classica facciata a singola pelle. E' inoltre possibile in questa fase valutare l'effetto di piccole portate di ventilazione, dovute all'irraggiamento di giornate soleggiate ed alla non perfetta chiusura delle *louvres*, sull'isolamento termico complessivo. Un parametro infatti spesso non considerato in questi sistemi riguarda proprio gli effetti che la non perfetta chiusura dei sistemi di apertura possono avere sull'isolamento termico globale. Introducendo in questo caso nel campo *ventilation* un basso valore di portata, che può essere ricavato con il metodo numerico, è possibile quantificare il peggioramento in termini di

trasmittanza equivalente totale, dovuto alla ventilazione.

3.3.2 Regime Estivo

Nel regime estivo la doppia pelle può ridurre i carichi termici entranti nell'ambiente, riducendo pertanto la richiesta di potenza per il raffrescamento. Questo fenomeno avviene poichè l'irraggiamento solare, riscaldando l'aria nella intercapedine, innesca un moto convettivo (valutabile dalla portata in litri al secondo) il cui flusso termico tende a sottrarsi a quello dovuto all'irraggiamento. Se schematizziamo la direzione di questo flusso entalpico dovuto all'irraggiamento come entrante nell'edificio, il flusso legato al moto convettivo dell'aria è a quest'ultimo perpendicolare, riducendo pertanto il valore del flusso entalpico entrante nell'edificio. Questa riduzione corrisponde e può essere interpretata in termini di aumento di dispersione termica nella direzione della ventilazione. Risulta quindi molto interessante ora la funzionalità di WIS, in presenza di intercapedini ventilate, di separare i contributi di trasmittanza totale dovuti alla convezione (U-conv), all'irraggiamento (U-ir) ed alla ventilazione (U-vent). La U-vent rappresenta peranto la trasmittanza termica legata al movimento dell'aria, dal cui reciproco si può ottenere la resistenza termica di ventilazione. Al variare dell'irraggiamento (e conseguentemente della portata di ventilazione naturale) è possibile notare come i termini U-conv e U-ir rimangano sostanzialmente immutati, mentre il termine U-vent varia raggiungendo valori molto alti, dipendenti dalla portata di ventilazione in rapporto alle dimensioni del modulo su cui si sta svolgendo l'analisi. Questo parametro quindi può caratterizzare un aumento di dispersione energetica, in questo caso favorevole in quanto porta una sottrazione di carico termico entrante nell'edificio.
Risulta chiaro che se il carico termico fosse uscente (come nel caso del regime invernale), questa dispersione si sommerebbe, con negativi effetti per il bilancio termico globale. L'andamento della U-vent rispetto al U-value complessivo del sistema in condizioni estive verrà infine valutato nel dettaglio al Par. 3.4.3.1 nell'ambito delle analisi condotte sul prototipo in ETFE.

3.4 Il prototipo di involucro in doppia pelle di quarta classe

Attraverso la definizione di *Involucro*, è stata definita, al termine del primo capitolo, una possibile interpretazione per un nuovo linguaggio nei sistemi di facciata. Un linguaggio caratterizzato da una grande rilevanza data sia all'impiego di materiali innovativi sia all'attenzione per il problema energetico.
La realizzazione pratica dell' *"involucro come separazione di due biosfere"* è stata quindi proposta attraverso un sistema in doppia pelle ibrido vetro-ETFE il cui grado di modularità possa consentirne l'applicazione indifferenziata su edifici di terziario, caratterizzati dalla grande altezza e dalla forma organica.
In questa sezione si andranno pertanto a verificare le prestazioni e gli eventuali vantaggi dei cuscini in ETFE, applicati ad un sistema doppia pelle, con l'obiettivo di capire se questo materiale, oltre ad una rinnovata estetica, possa garantire migliori prestazioni climatiche, in accordo con i caratteri propri del linguaggio di quarta classe. La scelta della tipologia di compartimentazione su cui svolgere le analisi è stata fatta basandosi sugli indicatori metaprogettuali definiti nel secondo capitolo, ed ha avuto anche in questo caso come obiettivo la ricerca del massimo potenziale in termini di risparmio energetico. Si è quindi deciso di utilizzare i moti convettivi naturali, uniti alla compartimentazione shaft-box, apparsa come una delle soluzioni migliori per la gestione dei gradienti termici dovuti al solo irraggiamento solare. La compartimentazione shaf-box è inoltre particolarmente adatta alla applicazione in edifici di grande altezza dove è possibile sfruttare adeguatamente il camino solare. Il modello di analisi, che verrà chiamato *prototipo*, si basa quindi come detto sulla applicazione in pelle 2 di un cuscino in ETFE in sostituzione al classico vetro monolitico stratificato. Il telaio di supporto, che in questo caso deve supportare entrambe le pelli (a differenza del progetto Torno dove la comparimentazione multistorey consentiva di supportare separatamente la pelle 2), è stato ingegnerizzato con il supporto e la collaborazione della azienda Metra. Tutti i profili che lo compongono, le guarnizioni ed il taglio termico sono stati pertanto studiati sulla base di una possibile futura industrializzazione del prodotto per la realizzazione di moke-up sui quali svolgere ulteriori analisi di tipo sperimentale.

3.4.1 Schema di funzionamento e prestazioni attese

Nella definizione delle caratteristiche del prototipo su cui svolgere le analisi sperimentali sono state precendemente introdotte le scelte in termini di moti convettivi e comparimentazione del sistema. Poichè obiettivo dell'involucro è di ottenere la migliore prestazione nel controllo climatico, si è deciso di fare riferimento al moto convettivo naturale, abbinato ad una comparti-

mentazione di tipo shaft box. In questo modo è possibile unitamente alla sperimentazione sull'ETFE, valutare l'efficacia di questa compartimentazione che, negli indicatori metaprogettuali precedentemente definiti, è apparsa come una delle scelte più vantaggiose.

Fig Rappresentazione 3D del prototipo in esame

La decisione di considerare un moto convettivo naturale, ha inoltre escluso la ventilazione naturale degli ambienti interni, poichè, come rilevato essa è in questi casi di difficile applicazione. Infatti anche se è tecnicamente possibile sfruttare il movimento dell'aria nella intercapedine per ottenere i necessari ricambi in volumi/ora degli ambienti, ciò rimane di difficile applicazione quando, come nel caso in esame, il movimento dell'aria è garantito unicamente dal gradiente di temperatura che si viene a creare fra l'interno dell'intercapedine e l'aria esterna.

Il telaio sviluppato per il prototipo si basa su una facciata continua classica in pelle 1, modificata al fine da poter accogliere in pelle 2 i cuscini in ETFE. A tal scopo è stato definito schematicamente un elemento ogivale, che raccoglie le funzioni di supporto meccanico dei cuscini in ETFE. Il prototipo nel suo complesso si compone di un camino solare in cui entrambe le pelli sono in vetro, al quale sono collegati gli elementi box ventilati la cui pelle 2 è realizzata in cuscini in ETFE. Questa differenziazione può consentire di massimizzare gli apporti solari nel camino, per aumentare la portata di ventilazione, mantenendo un buon controllo solare nelle parti a box. La ventilazione si innesca quindi nel camino solare (in blu scuro nell'immagine), aspirando aria dai box laterali, i quali a loro volta lasciano entrare aria fresca dalle aperture frontali di facciata. In questo modo i flussi di ingresso dell'aria fresca in entrata e di quella calda in uscita risultano completamente separati, evitando quini il rischio di miscelazione, (tipico delle compartimentazioni a box) che può determinare un aumento del fattore solare globale.

L'altezza del camino è in questo caso una variabile da non trascurare poichè da essa dipende l'entità della portata di ventilazione nei box. Dalle analisi sarebbe pertanto anche possibile definire quale sia l'altezza sfruttabile per la maggiore efficienza, in base al numero di box collegati, prima che le inevitabili perdite di carico degli imbocchi-sbocchi possano comprometterne il funzionamento. Si sono scelte delle dimensioni di prova per il modulo pari a 2 X 4 metri, consentendo in questo modo di coprire l'interpiano tipo di un edificio alto. Il camino solare è stato invece valutato in una larghezza di 3 m ed una altezza di 40 m,facilmente ottenibile in un edificio alto e garanzia di una adeguata portata di ventilazione a tutti i box. Si tratta di una scelta simile a quella effettuata nel grattacielo Arag Tower di Dusseldorf, dove il camino solare ha una altezza pari a 8 piani. Nel caso del prototipo in esame, attraverso una altezza di 40 m è possibile coprire 10 piani tipo e ventilare un totale di 20 box. Definiti quindi i dati geometrici sono stati scelti i materiali e le condizioni al contorno, sulla base delle norme precedentemente citate e delle attuali tecnologie. Il prototipo in esame dovrebbe consentire di ottenere, rispetto ad una soluzione analoga ma con vetro monolitico in pelle 2, un migliore isolamento termico invernale ed una invariata capacità di ventilazione estiva. L'analisi viene condotta sia nel caso estivo che invernale valutandone i differenti comportamenti per il prototipo in ETFE e per quello che verrà chiamato il modello classico, la cui unica differenza rispetto al prototipo è la presenza di un vetro float chiaro da 12 mm in pelle 2. In questo modo è possibile confrontare i valori derivanti dalla applicazione dell'ETFE rispetto alla soluzione standard, ed effettuare il confronto delle prestazioni. Le prestazioni attese nelle differenti condizioni sono:

Caso estivo: Nel caso estivo il processo di ventilazione si innesca nel camino solare (che viene a questo scopo appositamente progettato), per effetto dell'aumento della temperatura dovuto ad irraggiamento solare. La portata di questa ventilazione deve essere in grado di prelevare il volume d'aria contenuto in tutti i box collegati. Attraverso questo processo l'aria riscaldata dall'irraggiamento del sole presente nel volume del box viene asportata ed espulsa attraverso il camino, riducendo quindi il flusso di calore entrante nell'ambiente e conseguentemente i carichi a cui è sottoposto l'impianto di climatizzazione. Ciò che ci si attende è che il maggiore grado di isolamento dovuto alla presenza del cuscino in ETFE non vada a peggiorare significativamente la dispersione energetica ottenibile dalla ventilazione, mentre si dovrebbero ottenere dei più bassi apporti solari, in virtù di un più basso valore del G-value complessivo ottenibile con l'introduzione del cuscino.

Caso invernale: Durante il periodo invernale il sistema doppia pelle consente di migliorare le prestazioni di isolamento termico rispetto ad un sistema a singola pelle (vedi cap 2).
Nel caso in esame in cui pelle 2 è costituita da cuscini in ETFE, per effetto del basso valore di trasmittanza di questi ultimi è atteso un abbassamento del valore U-value totale, con conseguente migliore effetto di isolamento climatico.

3.4.2 Le caratteristiche dei cuscini in ETFE

ETFE è l'acronimo di Etilene-Tetrafluoroetilene: si tratta di un materiale fluoropolimerico con particolari caratteristiche quali:
Leggerezza: il peso è di 350 g/m2 per fogli di spessore 200 µm
Trasparenza: variabile fra 80 % e 95%
Elevata resistenza agli agenti atmosferici ed all'invecchiamento
Ricilabilità
Si tratta però, è bene ricordarlo, di una membrana, in grado quindi di resistere unicamente a sforzi di trazione nel proprio piano. Per questo motivo le strutture che essa può realizzare sono di tipo pneumatico oppure pre-teso. Queste strutture pneumatiche, attraverso le quali più si utilizza questo materiale come componete per un sistema di rivestimento, sono realizzate da due o più livelli di membrana formanti un cuscino all'interno del quale viene mantenuta una pressione fra i 200 ed i 1000 Pascal.
L'isolamento termico è ottenuto principalmente attraverso l'aria presente nel cuscino, eventualmente compartimentata dalla presenza di ulteriori fogli che dividono la camera interna in più sezioni non comunicanti fra loro. La pressione all'interno di questo cuscino mantiene la membrana in tensione, garantendo quindi la stabilità sotto condizioni di carico.
Attraverso dei regolatori inoltre si può modificare la pressione interna in funzione del carico applicato. Come parametro di resistenza meccanica si può assumere un punto di snervamento attorno ai 50 N/mm2 ma, per via della grande capacità di deformazione in campo plastico, è importante studiare e sfruttare correttamente il materiale oltre questo limite.
Tutto ciò in altre parole si traduce in un ottimo comportamento del materiale alla fine del campo elastico, a tutto vantaggio della sicurezza e della capacità di assorbire grandi deformazioni.
Dal punto di vista termico un cuscino in ETFE in tre strati può raggiungere un U-value pari anche a 1 W/m2K, con possibilità di diminuire del 20% se gli strati superiore ed inferiore sono fissati alla struttura primaria in maniera indipendente dagli altri. Inoltre le qualità ottiche dell'ETFE consentono di eliminare quasi completamente la trasmissione dei raggi UV.
Il processo di realizzazione di un cuscino parte dalla polimerizzazione dell'ETFE sotto forma di granuli che vengono poi riscaldati alla temperatura di 170° ed estrusi sotto forma di fogli con spessore medio di circa 100 – 200 µm. Successivamente questi fogli vengono uniti fra di loro a caldo in modo da creare un'unica membrana. Ogni coppia di membrane forma così un cuscino pneumatico che viene vincolato lungo i bordi da una struttura di supporto in acciaio od alluminio. E' inoltre possibile realizzare cuscini in cui sono presenti tre membrane, realizzanti due camere d'aria separate che possono consentire di migliorare la prestazione in isolamento.
Ogni singola membrana è realizzata per sovrapposizione di vari fogli, chiamati "layer" secondo una logica simile a quella dei vetri stratificati: variando numero e tipo dei vari layer si modificano le proprietà ottiche ed energetiche. La grande leggerezza del materiale consente inoltre di coprire grandi luci in modo relativamente semplice, consentendo così di realizzare una struttura portante molto leggera.
La pressione all'interno del cuscino viene creata e mantenuta attraverso un sistema di tubazioni che deve inoltre essere in grado di operare variazioni della pressione interna in funzione del carico applicato alla membrana. Si vede quindi che ogni cuscino in ETFE risulta essere un componente dinamico, che necessita di una attenzione particolare ai particolari costruttivi ed alla loro ottimizzazione. In questo modo si viene a creare un pacchetto composto da un certo numero di strati di pellicola in ETFE, che racchiudono una camera d'aria o di un altro gas, secondo un principio identico a quello della vetrocamera. L'utilizzo di questi cuscini può consentire in certe situazioni di sostituire le classiche vetrazioni, ottenendo migliori prestazioni termodinamiche e al contempo un minore peso.
E' stato quindi necessario analizzare le singole caratteristiche di una soluzione del genere per permettere un confronto con le prestazioni ottenibili da un classico sistema vetrato.

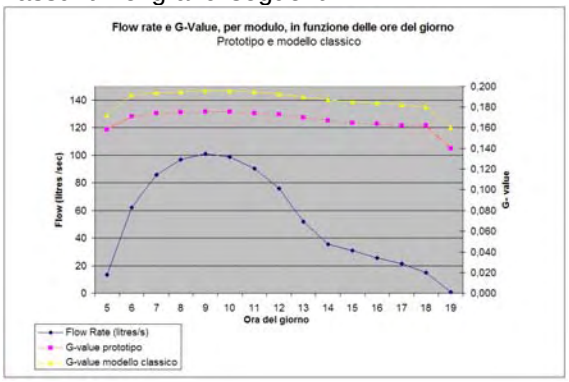
3.4.3 Analisi del prototipo

Il prototipo è stato analizzando attraverso il modello di predimensionamento energetico introdotto al punto 3.1. Le condizioni al contorno per le analisi in Therm sono state definite in base alla norma ISO 15099 e UNI EN ISO 10077. I dati di irraggiamento solare sono invece stati derivati dal prospetto XVII della norma UNI-10349, Dati climatici, considerando il caso peggiorativo relativo alla esposizione SUD-EST, latitudine 44°, mese di luglio.
L'analisi in Therm del telaio, che è ovviamente lo stesso per entrambi i modelli, ha fornito non

solo il valore di trasmittanza equivalente, ma anche dati relativamente ai flussi di calore ed alla distribuzione delle isoterme. Sia il vetrocamera in pelle 1 che il cuscino in ETFE in pelle 2 sono stati schematizzati con pannelli isolanti in base alla norma EN ISO 10077. Le camere interne sono state considerate tutte chiuse, con modellazione NFRC *frame cavity* ,tranne quelle schematizzanti l'intercapedine ed il percorso dell'aria all'interno del telaio, per le quali si è fatto riferimento alla modellazione NFRC *frame cavity slightly ventilated*. Questa approssimazione può essere considerata corretta in quanto le condizioni al contorno che la norma stabilisce per il calcolo del U-value del telaio seppure neutre, si avvicinano alla condizione tipica invernale, situazione nella quale la ventilazione nell'intercapedine si riduce ai valori minimi consentiti dalla non ermeticità delle aperture. Conseguentemente la cavità sligthly ventilated può modellare accuratamente questa condizione in quanto prevede una apertura della cavità non superiore al 5% della sua dimensione.
L'U-value calcolato è quindi pari a U=2,99 W/m^{2}K. Effettuata l'analisi in Therm si è provveduto alla valutazione della portata di ventilazione naturale nel camino solare, per stabilire l'entità della portata nei singoli box rappresentanti il modulo di prova per l'involucro in ETFE.
La modellazione del camino ha sfruttato i medesimi dati e condizioni al contorno definite per l'analisi del modello di validazione, modificandone solo il valore dell'altezza.
Si è così ottenuto un valore di portata che è stato distribuito uniformemente su tutti i box, trascurando quindi i fenomeni di perdita di carico che possono far variare il valore in funzione della posizione e della geometria delle aperture di comunicazione box - shaft.

3.4.3.1 Risultati in regime estivo

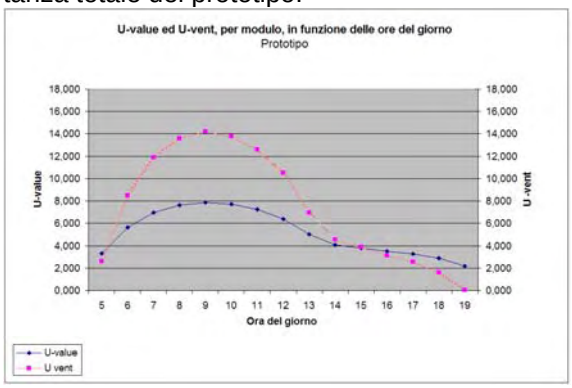
I risultati ottenuti con WIS in regime estivo sono riassunti nei grafici seguenti:



Graf 3.3 Flow rate e G-value

Il grafico 3.3 mostra l'andamento del Flow rate del G-Value in funzione delle ore del giorno.
Il flow rate non varia nei due casi considerati essendo garantito dal camino solare.
Il G-value invece si mantiene sempre su valori abbastanza bassi, risultando sempre più basso nel prototipo rispetto al modello classico. Questa differenza è attestabile su valori medi di circa 11,5 %.

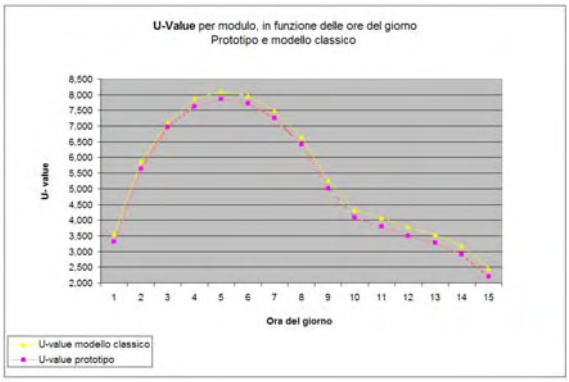
E' importante notare che il vetro float utilizzato nel modello classico ha uno spessore di 12 mm, se si fosse utilizzato un float di 15 mm la differenza con il prototipo sarebbe salita a valori di circa 40%. Da questi dati si può quindi concludere che la presenza dell'ETFE in pelle 2 porta ad un significativo abbassamento del fattore solare, riducendo gli apporti solari dovuti all'irraggiamento solare. Analizzando ora i valori di trasmittanza, si è potuto isolare il termine dovuto alla sola ventilazione rispetto alla trasmittanza totale del prototipo.



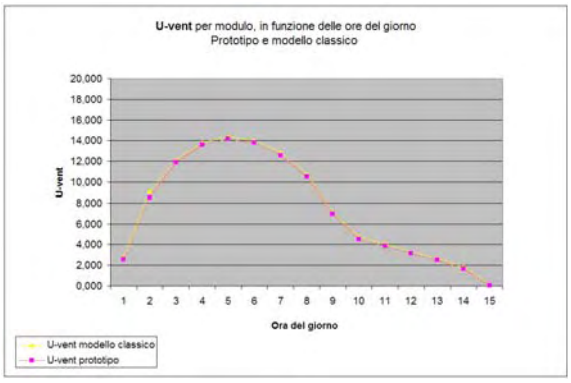
Graf 3.4 Curve di U-value

Il grafico 3.4 mostra l'andamento dei due valori, sempre in funzione delle ore del giorno. Si può notare come in presenza di forte irraggiamento (fra le ore 8 e le ore 14), l'U-vent aumenti fino a valori di circa 14 W/m2K. La trasmittanza totale del sistema aumenta quindi principalmente per l'aumento di valore dell'U-vent. La differenza evidenziata dalle due curve può pertanto dare una indicazione visiva della capacità dell'intercapedine di disperdere energia attraverso una direzione di flusso che contrasti quella entrante nell'edificio.Più la curva dell'U-vent si mantiene sopra la curva dell'U-value, più la dispersione sarà marcata.

Risulta pertanto importante ora analizzare nel dettaglio le differenze nei valori di trasmittanza fra modello classico e prototipo. I grafici 3.5 e 3.6 mostrano quindi l'andamento del valore totale di U-value, e del valore della sola U-vent, nel prototipo e nel modello classico.



Graf 3.5 Differenze di U-Value per I due casi



Graf 3.6 Differenze di U-Vent per i due casi

Si può notare come la presenza del cuscino in ETFE nel prototipo non modifichi sostanzialmente queste due curve, permettendo mantenere la dispersione termica di quest'ultimo pressochè immutata rispetto al modello classico. I valori di tutte le differenze sono stati infine riepilogati in differenze percentuali principali fra prototipo e modello classico.
Si è rilevato, analizzando le fasce orarie in cui l'irraggiamento ha un valore significativo (dalle ore 6 alle ore 18), come il cuscino in ETFE porti ad un abbassamento del fattore solare di un valore medio di 11,5%, mentre contemporaneamente la trasmittanza totale diminuisce di valori medi del 3% con forte irraggiamento e 8,5 % con moderato irraggiamento. Gli effetti sulla U-vent sono invece più ridotti, attestandosi su valori medi del 2 % nell'arco della giornata. Si può quindi concludere che la presenza del cuscino in ETFE permette l'abbassamento del fattore solare totale, senza per questo pregiudicare sostanzialmente la prestazione in termini di ventilazione naturale. Questo risultato è in particolar modo aprezzabile nella compartimentazione analizzata

Inoltre la sperimentazione sulla compartimentazione shaft box ha permesso di verificare l'effettiva migliore prestazione di questa tipologia agli effetti della ventilazione naturale. La presenza infatti del camino solare, che ben si adatta a tipologie architettoniche sviluppate in altezza, permette di creare le condizioni per ottenere elevate portate di ventilazione. Questa portata si distribuisce in tutti i box collegati, comportandosi nei loro confronti come una ventilazione forzata. Il tiraggio che si sviluppa nel camino solare aspira infatti l'aria dai box, che la sostituiscono con quella esterna prelevata dalle aperture in facciata, con un valore di portata che non sarebbe ottenibile per il solo guadagno solare presente nel box stesso. Conseguentemente il box si trova sottoposto ad un elevato valore di portata rispetto alle sue dimensioni, che si traduce in un grande valore di U-vent, come rilevato nei grafici precedenti.

3.4.3.2 Risultati in regime invernale

In regime invernale la ventilazione è assente e tutto il sistema in doppia pelle agisce come elemento di isolamento termico. I risultati di analisi sono riepilogati nelle fig. 3.22 e 3.23 e da essi si può confermare l'efficacia dell'ETFE nella condizione invernale. Il valore della trasmittanza equivalente passa infatti da 2,41 a 2,15 W/m2K, con una diminuizione quantificabile nel 10,7 %. Il cuscino in ETFE può quindi portare un vantaggio anche nella situazione invernale, consentendo di migliorare il livello di isolamento termico. In termini di fattore solare invece si può leggere un aumento di circa il 15%, valore questo che può rappresentare solo un leggero peggioramento nelle capacità di sfruttare gli apporti solari gratuiti. Si può quindi concludere che l'applicazione di un cuscino in ETFE ad un sistema in doppia pelle può effettivamente garantire dei vantaggi da un punto di vista energetico. Questa prima conferma delle prestazioni energetiche di questo sistema non vuole però esserne a totale garanzia dell'efficacia in qualsiasi situazione, ma rappresentarne uno stimolo positivo nei confronti di successive future indagini.

3.4.4 Conclusioni

La sperimentazione del cuscino in ETFE nel sistema a doppia pelle costituisce l'ultimo passo di un processo di ricerca che si è sviluppato secondo una chiave di lettura riguardante la possibilità di sperimentazione tecnologica e linguistica per i sistemi di facciata del tipo architettonico grattacielo. Il primo punto da cui ha preso avvio la ricerca ha riguardato la definizione do una possibile articolazione in classi per i sistemi di facciata impiegati per gli edifici di grande altezza. Attraverso questa classificazione è stato possibile non solo delineare un chiaro quadro in termini tecnologici e prestazionali, ma anche

interpretare le linee principali di sviluppo linguistico di tali sistemi e le loro ragioni fondative.
Si è cercato di interpretare quindi i rapporti fra tecnologia e linguaggio in modo da desumere gli strumenti necessari allo sviluppo di una proposta interpretativa per la facciata tecnologica, la cui morfologia più interessante è risultata essere il sistema in doppia pelle. Le grandi potenzialità energetiche da un lato, la poliedrica espressione di linguaggio rilevata dall'altro, hanno portato alla proposta di una classe (la quarta), nella quale la ragione fondante di pelle energetica viene supportata da un ridefinito concetto per il sistema di rivestimento (l'involucro) e dalla possibilità di sperimentare materiali innovativi che possano in primo luogo migliorare le prestazioni energetiche.Individuando nell'ETFE il materiale potenzialmente più promettente sia per gli aspetti compositivi che per quelli energetici, si è potuti passare ad una successiva fase di verifica, creando una serie di indicatori per il supporto della fase metaprogettuale del sistema ed infine sviluppando un metodo di predimensionamento energetico per la sua analisi termica. Metodo che, dopo aver superato una fase di validazione attraverso un caso di studio, è stato infine applicato ad un prototipo di involucro di quarta classe nel quale sono impiegati i cuscini in ETFE. Pur limitandosi alla simulazione teorica, il metodo, descritto in quest'ultimo capitolo, ha evidenziato i miglioramenti che il cuscino in ETFE può dare quando applicato ad una morfologia in doppia pelle. In particolar modo è stato possibile quantificare un vantaggio prestazionale in regime estivo di circa il 12 % (percentuale di abbassamento del fattore solare), in regime invernale invece il valore trovato è stato di circa il 15% (percentuale di abbassamento della trasmittanza termica equivalente)
Si può quindi concludere che la sperimentazione effettuata su materiali, metodi e linguaggi, ha consentito di raggiungere gli obiettivi inizialmente fissati, concretizzandosi nella proposta di una espressione linguistica fondata sulla pelle energetica e supportata inoltre, sia da metodi di indagine termica, sia da un materiale innovativo dalle interessanti caratteristiche strutturali e termofisiche. Inoltre i risultati acquisiti consentono di gettare le basi per ulteriori sviluppi futuri nelle differenti tematiche indagate, concentrando l'attenzione sia sugli aspetti compositivi, sia su quelli di verifica tecnologica e prestazionale per il materiale proposto.

Note

1) Anderson J.D., Computational Fluid Dynamics: the basics with application, Mc Graw Hill, New York, 1995
2) TNO Building and Construction Research, Department of Sustenaible Energy and Buildings, Delft, Netherlands
3) NATFAC é stato sviluppato dalle teorie del Professore Michael Holmes e presentate in: Optimisation of the Thermal Performance of Mechanically and Naturally Ventilated Glazed Facades. Renewable Energy, Vol 5, Part II, pp1091-1098, Elsevier Science Ltd UK
4) Guida CIBSE Book A. Section A5. Chartered Institution of Building Services Engineers, Londra 1999.

Bibliografia

Monografie di interesse generale:

Benedetti A. Norman Foster, Zanichelli, Bologna, 1988
Blake P. The masters builders, Norton & Company, Londra, 1960
Conway L.M. Jean Nouvel, elementi di architettura, Universe Publishing, New York, 1998
Hibelings H. Supermodernismo: L'architettura nell'età della globalizzazione, Castelvecchi, Roma, 2001
Jencks C. Le Corbusier, Jaca Book,Milano, 2000
Jodido P. , Sir Norman Foster, Taschen, Londra, 1997
Frampton K. , Storia dell'architettura moderna, Zanichelli, Bologna, 1993
Mandolesi E. , Lione R. Edilizia per il terziario/Il grattacielo, Ed.Futura, Roma, 1993
Portoghesi P., Postmodern, Electa, Milano, 1982
Severino E. Tecnica e architettura, Raffello Cortina Editore, Milano, 2003
Zevi B. Frank Lloyd Wright, Zanichelli, Bologna, 1979
Zevi B. Storia dell'architettura moderna, Einaudi, Torino, 1996
Weston R. , Modernismo, Mondadori, Milano, 1996

Monografie specifiche:

Benini D. & Partners Architects The structure of the form, Arcaedizioni, 2003
Behling S. , The evolution of solar Architecture, Prestel, New York, 1996
Brookers A.J. , Grech C. Hi-Tech i dettagli dell'involucro, Ed. BE-MA,Milano 1990
Brookers A.J. Cladding of buildings, E & FN SPON, New York, 1998
Campi M., Skyscrapers, Birkhauser, Berlino, 2000
Compagno A. Intelligent Glass Facades, Birkhauser, Berlino, 2002
Colafranceschi D. Architettura in superficie, Gangemi editore, Roma, 1995
Duprè J. Grattacieli, Black Dog & Leventhal Pub., New York, 1996
Di Sivo M. La parete e la finestra, Alinea, Firenze, 1997
Giusiana R. Braicovich E. Serramenti e alluminio, Tecnomedia, Milano,1990
Irace F. , Micheal S. , Richard R. La città che sale: I nuovi grattacieli americani, Arcadia, Milano, 1988
Howeler E., Grattacieli, Rizzoli-Skira, New York, 2003
Hart.F., Henn.W., Sontag H., Architettura acciaio - edifici civili, Finsider, 1982
Yeang K., The green skyscrapers, Prestel, Monaco, 2001
Maffioletti S. Il grattacielo: ruolo urbano e composizione, Cluva editrice, Venezia, 1990
Oesterle-Liebe-Lutz-Heusler, Double skin facades, Ed. Prestel, New York, 2001
Puglisi L.P. , Rem Koolhaas trasparenze metropolitane, Milano, 1997
Rogora A., Architettura e bioclimatica, Sistemi Editoriali, Napoli, 2003
Romanelli F. Scapaccino E. Dalla finestra al curtain wall, Officina edizioni, Roma, 1979
Saelens D. “Energy performance assessment of single storey multiple skin facades”, PhD. Thesis 2002.
Shulze F., The Seagram Building, Princeton Architectural Press, 1991
Taranath S. , Steel Concrete & composite of tall buildings, Mc Graw Hill, New York, 1998
Wigley M. Deconstructivist Architecture, MoMa, New York, 1988
Wigginton M. Intelligent Skin, Architectural Press, Oxford, 2002
Zukowsky J., The sky’s as a limit, a century of Chicago skyscrapers, Rizzoli, New York, 1990

Articoli da riviste:

Banaudi D. L’orgoglio di Racine, Costruire n°130, 1993
Ballarè S. Difficili trasparenze, Modulo, Giugno 1993
Balocco C. “A simple model to study ventilated facades energy performance”, Energy and buildings 34, 2002
Ciampi M., Leccese F., Tuoni G., “Sul comportamento termico di facciate e coperture ventilate”, La Termotecnica, 1-2002
Dall'O' G., Galante A., Soldan M. Un doppio involucro trasparente con schermatura solare, Modulo, Aprile 2004
Flierl B. Grattacieli?, Lotus n°80, 1994
Facchinetti M.T. America America, Modulo, Marzo 2004
Gan G. Thermal transmittance of multiple glazing: computational fluid dynamics prediction”, Applied

Thermal Engineering 21, 2001
Gayle S.R., Kolokotroni M., Cripps A., Tanno S., “ETFE foil cushion in roofs and atria”, Construction and Building Material, 2001
Gratia E., De Herde A. “Optimal operation of a south double-skin facades”, Energy and Buildings 36, 2004
Gratia E., De Herde A. “Natural ventilation in a double-skin facades”, Energy and Buildings 36, 2004
Gregotti V. I vizi degli architetti, Lotus n°75, 1993
Infileld D. , Mei L. , Eicker U. “Thermal performance estimation for ventilated PV facades”, Solar Energy 76, 2004
Manz H. “Numerical simulation of heat transfer by natural convection in cavities of façade elements”, Energy and buildings 35, 2003
Manz H. “Total solar energy transmittance of glass double facades with free convection”, Energy and Buildings 36, 2004
Menicali U. Pelle di vetro, Costruire n°118, 1993
Negri R. Modulazioni di facciata, Modulo, Marzo 2004
Pasquay T. “Natural ventilation in high-rise building with double facades, saving or waste energy”, Energy and Buildings 36, 2004
Paoletti I. Tendenze in facciata, Modulo, Maggio 2002
Ponti G. "Espressione" dell'edificio Pirelli in costruzione a Milano, Domus, Marzo 1956
Ponti G. Favola americana, Domus, Settembre 1959
Ponti G. Si fa coi pensieri, Domus, Giugno 1961
Purini F. Valori termici, Lotus n° 79, 1993
Righetti P. Involucro ventilato, Modulo, Aprile 1998
Righetti P. Il "Pirelli", Modulo, Gennaio 2004
Rossetti M. Una prova per tutti, Costruire n°190, 1999
Scamporrino M. Camino solare, verde e altro, Modulo Febbraio 1999
Simonelli G. Le facciate riflettenti, Modulo, Gennaio 1985
Tucci F. Thomas Herzog, Modulo Luglio/Agosto 2003
Vanoncini P.A. Verso l'energia zero, Modulo, Luglio 2001
Von Grabe J. “A prediction tool for the temperature field of double facades”, Energy and buildings 34, 2002
Wigley M. Il luogo, Lotus n°95, 1995
Zerboni M. Verde metallo, Modulo, Marzo 2002
Eden Project, Architectural Review, Aprile 2000
Foster & Partners Commertzbank, Architectural Review, Luglio 1997
Recupero Hig tech, Modulo Dicembre 2002 / Gennaio 2003
Trasparenze tecnologiche, Progetto Torno International, Modulo Dicembre 2002 / Gennaio 2003
Renzo Piano Debis Tower, Architectural Review, Gennaio 1999
Grismshaw & Partners National Space center, Architectural Review, Aprile 2000

Numeri monografici di riviste:

Creating Eden Environment, Arup Journal, Gennaio 2002
Detail Konzept, Materiali innovativi, Ottobre 2002
El Croquis n°112 , Jean Nouvel
El Croquis n°104 , Dominique Perrault
Modellazioni climatiche sulle facciate, Quadra Tecnica Ed. UNCSAAL, Luglio 1998
Energia e serramenti, gli apporti solari, Quadra Tecnica Ed. UNCSAAL, Maggio 1998
Manuale del Vetro, Saint-Gobain Glass, Ed.2000

Atti di convegni:

Beccali G., Varruba P., Cellura M., Cusumano A., Giaconia C. “Studio sperimentale degli scambi di energia sulle superfici di un "canyon urbano", 58° Congresso annuale ATI, 2003 pp.1483
Brunello P., De Carli M., Tonon M., Zecchin R. “Modellazione di ambienti climatizzati con sistemi radianti accoppiati a facciate a doppia pelle”, 58° Congresso annuale ATI, 2003 pp.1839
Calarco A., Tripoldi D. “L'influenza delle caratteristiche termiche sull'efficienza del processo di "ventilazione naturale", 58° Congresso annuale ATI, 2003 pp.1437
Ciampi M., Leccese F., Tuoni G Ventilated walls and energy saving in summer coolings of buildings, 4Th Europe solar congress - Eurosun 2002

Colombari M., De Carli M. “Involucri edilizi trasparenti a ventilazione forzata: Implicazioni impiantistiche, 58° Congresso annuale ATI, 2003 pp.1825
Cappelletti F., Peron F., Porciani L., Romagnoni P. “Prestazioni energetiche di sistemi vetrati”, 58° Congresso annuale ATI, 2003 pp.1425
Corticelli M., Muscio A., Tartarini P. “Analisi CFD dei campi di moto e di temperatura dell'aria in una cattedrale”, 58° Congresso annuale ATI, 2003 pp.2017
Corgnati S., Perino M., Serra V., Filippi M., “Misure spettrofotometriche per la caratterizzazione delle proprietà ottiche di vetri con pellicole a controllo solare”, 58° Congresso annuale ATI, 2003 pp.1899
Heiselberg P., Murakami S., Roulet C.A. Ventilation of large spaces in building. Analysis and Prediciotn technique. IEA annex 26: Energy Efficient Ventilation af Large enclosure, Aalborg (DK) 1998
“Proposta e validazione di un modello dinamico per la simulazione del comportamento termico degli edifici su foglio elettronico”, 58° Congresso annuale ATI, 2003 pp.1413
“Analisi del comportamento termofluidodinamico di un involucro trasparente innovativo: risultati di una campagna di monitoraggio”, 58° Congresso annuale ATI, 2003 pp.1457
“Costruzione di anni tipo da utilizzare per la simulazione dinamica del sistema edificio impianto”, 58° Congresso annuale ATI, 2003 pp.1445
Proceedings of CTBUH, Cladding, commitee 12 A, Mc Graw Hill 1992
Next. La biennale di Venezia 8th Mostra internazionale di Architettura, Marsilio, Venezia, 2002
Strutture di vetro e metallo, Politecnico di Torino, Ottobre 2002
Strutture di vetro e metallo, Politecnico di Torino, Ottobre 2003
Sicurezza al fuoco e strutture vetrate, Politecnico di Milano, Maggio 2003

Fonti inedite:

Balocco C., Bazzocchi F., Nistri P. “Facciata ventilate in laterizio: tecnologia e prestazioni”, appunti di ricerca, p.63
Ciampi M., Leccese F., Tuoni G, “Influenza di alcuni parametri termici sulle prestazioni energetiche delle pareti ventilate”, appunti di ricerca, Dipartimento di Energetica, Università degli studi di Pisa
Romagnoni P., Strada M., Traverso R., La ventilazione negli edifici di grande altezza
“The influence of double facades in building”, submitted for council.
The influence of double facade on building, University of Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering
Noise control strategies for naturally vented buildings, Building and environment n°37/2002
ANSI/ASHRAE 62/1989, ventilation for acceptable indoor air quality
Commertbank Zentrale in Frankfurt am main, Baumeister, May 1997 18-27

Software:

WINDOW 5.0 Software for anlyzing Window Thermal Performance, Lawrence Berkeley National Laboratory - 2001
WIS 3.01 Advanced Windows Information System, Funded in part by the European Commision, Joule II programme, EU. TNO Building and Construction Research- 2004
THERM 5.1 Software for Analyzing two-dimensional heat transfer trough building products Lawrence Berkeley National Laboratory - 2002

Normativa:

Norma UNI EN 673 - 30/06/1999 - Vetro per edilizia - Determinazione della trasmittanza termica (valore U) - Metodo di calcolo
Norma UNI 10349 - "Riscaldamento e raffrescamento degli edifici - dati climatici";
Norma UNI EN 410 - 31/03/2000 - Vetro per edilizia - Determinazione delle caratteristiche luminose e solari delle vetrate
Norma ISO 15099 - 15/11/2003 “Thermal performance of windows, doors and shading devices - Detailed calculations”
Norma prEN ISO 10077-1rev - “Thermal performance of windows, doors and shutters - Calculation of thermal transmittance - Part 1: General “

IL PROGETTO DI INTERVENTO TRA INNOVAZIONE E CONSERVAZIONE

Daniela Besana

Università degli Studi di Pavia – Dipartimento di Ingegneria Edile e del Territorio
XVIII Ciclo
Tutor: Prof. Marco Morandotti

"Che altro dunque andiamo cercando? Perché affaticarsi a dissertare sul senso delle parole, alla ricerca di chissà quali conturbanti problemi speculativi e non dedicarsi invece all'elaborazione di tecniche più efficaci, a studi storico-critici più puntuali sul piano filologico, a progetti sperimentali più rigorosi ecc.?"[1]
Da queste parole hanno origine alcune riflessioni e studi affrontati all'interno della tesi di Dottorato[2].
L'argomento principe intorno al quale si concentra la stessa risiede nell'intervento sul costruito, in particolare modo nel progetto di conservazione. Già da questa breve premessa si comprende come il campo di indagine qui presentato possa risultare potenzialmente illimitato coinvolgendo interessanti dissertazioni intorno a tematiche e riflessioni teoriche relativamente al significato attorno ai concetti di *restauro*, *recupero* e *conservazione*. Tali concetti, poiché caratterizzati da una lunga tradizione storica, hanno subito nel tempo una serie di modificazioni nel significato ad essi attribuito.
In realtà, non potendosi dedicare all'interno di una tesi di dottorato in maniera esaustiva e completa intorno al concetto del restauro in senso lato, si è scelto, riprendendo le esortazioni proposte da Benvenuto e Masiero, di concentrarsi su alcune tematiche più applicative per la pratica del progetto di intervento.
In particolare è proprio intorno al tema del *progetto* che ha origine il punto nodale di interesse e di studio della tesi.
"Oggi si percepisce l'inevitabilità di una revisione generale in ordine anche al mutuato orizzonte teoretico del restauro.
Per chi si occupa di costruito e tenta di ragionare intorno ai metodi per condurre nel migliore modo il provvedimento di conservazione della materia di cui il costruito è composto, al contrario, il tema del progetto è un nodo sostanziale. E' una questione centrale che rimanda ad argomenti più generali che toccano in primo luogo il problema della conoscenza, … [della] documentazione dello stato di fatto e soprattutto dell'intervento che si deve eseguire"[3].
Senza entrare nel merito della definizione di progetto proposta da innumerevoli architetti e studiosi, ma, anche solo riferendosi alla definizione, seppur ampia e generica proposta dal *Dizionario della Lingua Italiana,* è possibile coglierne alcuni elementi su cui avviare una riflessione in merito.
Progetto come "Piano per l'attuazione o l'esecuzione di quanto è stato stabilito, di quanto si medita di fare. – Anche, in senso generico: riflessione ordinata ed articolata sulle cose da farsi o che si intendono fare o, più genericamente, sul futuro prevedibile"[4].
Dunque progettare significa compiere un processo di riflessione basato su azioni organizzate, ordinate e consequenziali basando le proprie scelte, attraverso continui ripensamenti, problemi e riflessioni, sulle vicende passate e sulle ipotesi e aspettative future. In sintesi, entrando nel campo specifico dell'architettura, il progetto si intende come un *atto conoscitivo sperimentale*[5]. Il progetto presuppone quindi un'azione che si deve basare inevitabilmente su un tessuto di conoscenze ed osservazioni che permettono di trovare la strada per la soluzione da adottare nel progetto. *Sperimentale* infine perché, mai come in un progetto di intervento dell'esistente, ogni manufatto edilizio possiede le sue proprie specificità, la sua storia pregressa e l'intorno che lo rendono unico ed irripetibile; per questo non è possibile procedere secondo un canovaccio prestabilito per il progetto ma secondo una metodologia sperimentale appunto in grado di plasmarsi ed adattarsi al manufatto edilizio indagato.
Il punto nodale della tesi è risultato quindi essere proprio questo: è possibile identificare o ritrovare una metodologia di approccio al progetto di conservazione che, con le dovute specificità del caso, possa considerarsi valida su qualsiasi oggetto edilizio? Nel tentativo di dare risposta a questo quesito, risulta chiaro come si sia reso necessario effettuare una preliminare soluzione del problema a step successivi e capire dove risiedeva la questione basilare per la risposta che si andava cercando. Il problema nasce nel tentativo di comprendere come ed attraverso quale modalità si traducono le scelte

in un progetto di intervento sull'esistente. Tali scelte derivano inevitabilmente da un processo conoscitivo preliminare sull'oggetto sul quale si è chiamati ad intervenire. Allora rispondere alla domanda precedente in realtà significa comprendere come avviene il processo di conoscenza.
È possibile progettare il momento conoscitivo? Attraverso quali azioni e modalità si traduce? Come si interpretano in termini concreti ed operativi le informazioni e i dati ottenuti durante la fase diagnostico-conoscitiva in scelte operative per il progetto?
Intorno a questi quesiti e a queste tematiche ha preso avvio la ricerca della tesi di dottorato che trova qui riportate le tematiche più significative affrontate presentando i risultati che si è tentato di raggiungere e proponendo alcuni spunti per ulteriori riflessioni possibili o campi di azione innovativi da percorrere e sperimentare.

Complessità ed interdisciplinarietà nel processo di conoscenza

Sulla base delle convinzioni precedentemente riportate si è cercato quindi, nei tre anni di studio e di ricerca, di comprendere ed analizzare la valenza operativa di una impostazione metodologica che considera fondamentale, ai fini di un corretto intervento sul costruito, il rapporto esistente tra la fase diagnostico-conoscitiva e quella operativa-progettuale.
Tale convinzione si basa contestualmente sulla assoluta imprenscindibilità della fase conoscitiva come presupposto essenziale per il progetto di conservazione in quanto in grado di fornire uno contributo fondamentale per guidare ed orientare il progettista nelle scelte di intervento. A questo proposito basta ricordare il monito espresso da Dezzi Bardeschi che afferma: "Per intervenire bisogna conoscere"[6].
In primo luogo è risultato necessario comprendere appunto attraverso quali modalità e mezzi si realizzasse il passaggio dalla conoscenza all'intervento.
Fin dalle prime formulazioni teoriche, espresse ad esempio già nell'Ottocento da Viollet Le Duc, il concetto di conoscenza è associato ad una serie di fattori ed aspetti tra loro correlati tali da conferire alla stessa un elevato grado di complessità e di interdisciplinarità. Ciò nonostante la fase conoscitiva e l'approccio analitico al monumento assumono da sempre un ruolo fondamentale e determinante per il progetto, quale premessa necessaria che deve precedere qualsiasi atto operativo. Sarà Giovannoni a teorizzare tali concetti ed a riconoscere che, ad aumentarne il elevato grado di difficoltà, consiste proprio il *valore complesso dell'opera architettonica* che può essere correttamente interpretato solo se accompagnato, oltre che da un'attenta indagine anche da un'idonea preparazione dell'architetto.
L'opera architettonica è quindi un oggetto complesso composto da aspetti significativamente eterogenei tra loro e l'unico strumento a disposizione del progettista, per comprenderne appieno la sua interezza, consiste nella conoscenza completa, da un lato, di tutte le sue componenti attraverso il contributo delle più svariate discipline e dall'altro della contestualizzazione storica, territoriale e urbana del manufatto.
Boscarino afferma che, se l'obiettivo che ci si propone è quello della conservazione, è necessario conoscere ciò che si deve conservare in modo da pianificare consapevolmente il progetto dell'intervento. "Sul tema della conoscenza, che non può essere fine a se stessa, ma indirizzata all'intervento operativo e quindi alla sua progettazione, ritengo che vi sia un convincimento generale, nel senso che essa deve essere duplice: storico-critica e tecnico-scientifica"[7].

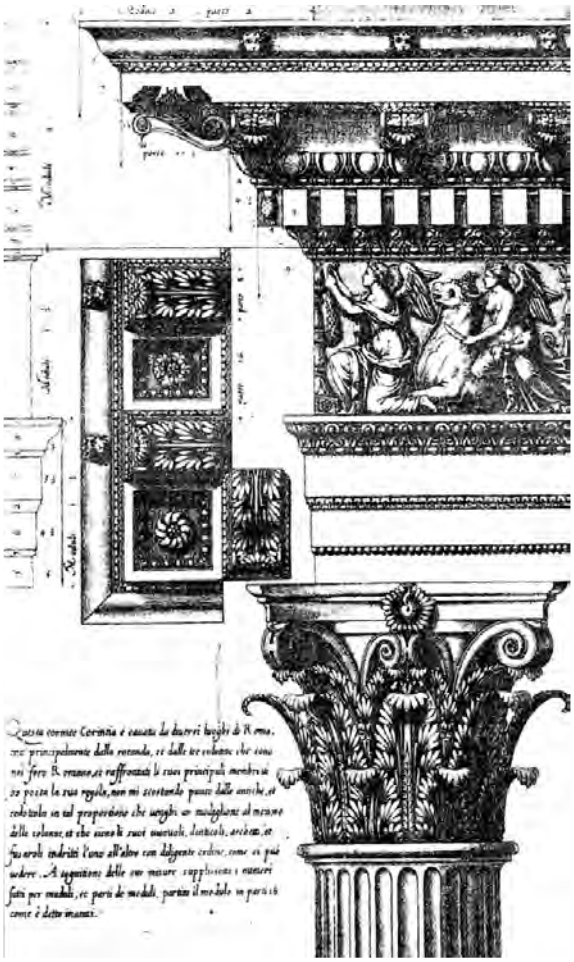


Fig. 1: Vignola, l'ordine corinzio rappresentato con tutte le sue decorazioni. Cfr. P. Marconi, Il restauro e l'architetto, Saggi Marsilio, Venezia 1988.

Questo significa che la conoscenza diventa quindi uno strumento di progettazione dell'intervento ma i rami da percorrere per l'acquisizione di essa e le metodologie da adottare rimangono sicuramente complessi e non univocamente determinati.
Entrando nello specifico della questione, considerando seppur sommariamente quali campi di indagine appartengono alla sfera conoscitiva, ci si rende conto fin da subito della forte eterogeneità di informazioni ottenibili e, quindi, della quantità di dati accumulabili.
Conoscere significa, da un lato, aver chiaro l'impianto storico, costruttivo e morfologico che costituisce ed ha costituito nel tempo la fabbrica e, dall'altro, analizzare lo stato di conservazione, le prestazioni residue e quindi il quadro delle patologie e del degrado in esse presenti.
È chiaro quindi che più ci si addentra nel significato delle singole operazioni, più si acquista la maggiore consapevolezza di una disciplina che accorpa in sé più competenze e più operatori.
In termini operativi, comprendere l'impianto morfologico dell'oggetto edilizio significa quindi compiere una serie di indagini che abbracciano campi disciplinari completamente diversi e coinvolgono nel contempo tecnici e studiosi differenti. Significa quindi procedere alla ricostruzione archivistica, all'analisi e allo studio delle tecniche costruttive utilizzate in un dato periodo storico, effettuare analisi di comparazione tra i materiali chimico-fisici adottati e sulle loro caratteristiche così come condurre investigazioni di tipo geologico-petrografico.
Come facilmente deducibile, questi aspetti, per conseguenza, ne fanno discendere a catena innumerevoli altri, che, pur fornendo le stesse informazioni, discendono da differenti tipi di prove e di indagini. Inoltre l'impianto morfologico non può essere esaustivamente compreso se non si effettuano accurati rilievi geometrici ma anche dei materiali utilizzati. Analogamente il problema rimane il medesimo: esistono differenti tecniche di indagine atte a fornire un rilievo preciso e dettagliato dell'oggetto architettonico? Quale scegliere? Quale risponde meglio alle esigenze specifiche del progetto? E ancora, come condurre il processo di diagnosi del quadro patologico in modo da comprenderne le cause e le prestazioni strutturali residue?

IL RILIEVO COME STRUMENTO DI PROGETTO

Da queste preliminari considerazioni si comprende che per conoscere in modo integrale e completo un manufatto edilizio, risulta assolutamente necessario avvalersi di uno strumento atto a raggiungere lodevolmente tale obiettivo. Il rilievo diventa quindi ausilio all'intervento in quanto costantemente utilizzato in tutte le fasi dell'intervento, da quella preliminare conoscitiva come matrice sulla quale implementare le informazioni raccolte, fino a quella di progetto.
Il termine *rilievo* ha sempre suscitato l'interesse degli studiosi che hanno ad esso attribuito un ruolo fondamentale e prioritario ai fini della definizione del quadro diagnostico-conoscitivo. Effettuando una lettura trasversale delle definizioni fornite dagli studiosi sul concetto di rilievo, si evince come, con il passare dei secoli, essi tendessero a riassumere in se stesso le caratteristiche proprie di complessità sempre crescenti man mano che si procedeva nella pratica del restauro.
Fin nell'Ottocento, Viollet Le Duc considerava il rilievo come uno strumento importante ed estremamente utile ai fini della conoscenza del manufatto, definendo il rilievo grafico e i documenti scritti *mezzi preliminari* alla conoscenza in quanto considerava "essenziale, prima di incominciare i lavori di restauro, analizzare esattamente l'età e il carattere di ogni singola parte, di farne una specie di processo verbale appoggiato da documenti inconfutabili, sia con note scritte, sia con rilievi grafici"[8].
Egli evidenzia inoltre l'importanza, da parte dell'architetto restauratore, di avvalersi di tutti i mezzi, anche i più sofisticati ed innovativi, come strumenti utili al progetto. In questo senso dichiara l'assoluta necessità di avvalersi della fotografia come una delle tecniche, al tempo più all'avanguardia, per il rilievo dell'esistente in quanto permette di rendere graficamente il disegno geometrico dell'oggetto ma soprattutto di fornire indicazioni sulla consistenza materica, i dettagli architettonici e costruttivi e diventa l'elemento utile al confronto tra la situazione prima del progetto di recupero ed a seguito dell'intervento. Questo aspetto aiuta a comprendere come in realtà il concetto di rilievo evolva nel tempo di pari passo all'innovazione tecnologica assorbendo in sé un'elevata componente di innovazione tecnologica.

Fig. 2: Vista esterna del "Borgo Medioevale" di Torino. Cfr. B. P. Torsello, La materia del restauro. Tecniche e teorie analitiche, Saggi Marsilio, Venezia 1998.

Un aspetto interessante riguardo all'utilizzo del rilievo come strumento di progetto è rintracciabile nel commento espresso da Boito nei confronti del progetto di costruzione del Borgo Medioevale realizzato da d'Andrade a Torino.
Egli assume il progetto del Borgo come esemplificativo della propria impostazione teoretica in quanto l'opera di D'Andrade rappresenta un esempio riuscito di compenetrazione e felice unione tra immaginazione creativa e conoscenza scientifica, offrendo al pubblico una riproposizione meticolosa e accurata dei modelli medioevali, come una pagina della storia ricreata alla scala reale e fondata su solidi criteri archeologici.
Ciò che Boito condivide appieno consiste nel fatto che "il Borgo non è *ricostruzione di un monumento*, quanto piuttosto *costruzione di un documento*"[9] che, secondo l'autore appunto, può considerarsi come vera e propria fonte storica.
L'eccezionalità del caso risiede nel fatto che esso non si può definire né progetto né restauro; dunque non interviene né su un'architettura né procede secondo azioni di falsificazione e distruzione, "è invece una perfetta simulazione su un modello, che realizza la più libera e rigorosa indagine sul passato, ne caratterizza fisicamente i risultati tramite un atto progettuale, ma assicura anche la più totale conservazione di quel passato e il più completo rispetto per quei resti che hanno permesso di scrutarne i segreti"[10].
Il progetto del Borgo diventa quindi un documento in quanto si può considerare come il primo esempio di modellazione a fini conoscitivi di un oggetto architettonico o meglio di uno stile temporale. Infatti esso diventa, come afferma sapientemente Torsello, "un «modello» di villaggio, a scala reale, che rappresenti il più fedelmente possibile le forme architettoniche, le espressioni d'arte, gli usi, gli utensili e le «maniere»"[11].
Secondo quanto si apprende dalle fonti documentarie infatti il gruppo di lavoro era molto numeroso e soprattutto dotato di competenze diverse proprio in ragione delle operazioni da svolgere. Vennero infatti realizzati accurati rilievi dei principali edifici medioevali, scavando negli archivi, nelle fonti iconografiche e nei documenti archeologici, effettuando contemporaneamente ricerche sulle decorazioni pittoriche e degli oggetti originali dell'epoca, arrivando a connotare il progetto come *saggio storiografico*

Fig. 3: Rilievo della facciata del Redentore a Venezia di Palladio. Cfr. R. Wittkower, Principi architettonici nell'erà dell'Umanesimo, Einaudi Tascabili, Torino 1994.

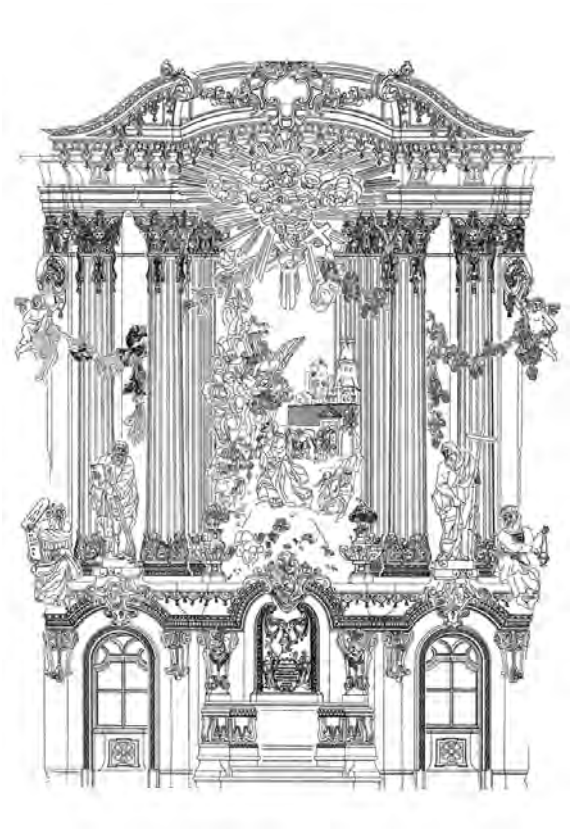


Fig. 4: Altare della Franuenkirche a Dresda rilevato attraverso la tecnica fotogrammetrica che consente una scala di dettaglio per la stampa in scala 1:10.

che possiede caratteri di analiticità ma che contemporaneamente diventa "atto di interpretazione e di sintesi storica. Esso tuttavia si presenta con un volto inedito: non è *scritto o detto con parole*, ma è realizzato con i mezzi del progetto architettonico ed è «comunicato» nella forma materiale dell'opera costruita; nasce dalla ricerca e dalla decifrazione dei documenti e dei reperti, produce una realtà criticamente pensata ma si offre e si attua nella forma, nello spazio della simulazione, del modello fisico, della *copia*"[12]. Questo è, in prima istanza, quello che oggi viene fatto con i modelli tridimensionali del manufatto architettonico, in grado di fornire una lettura unitaria e sintetica di più informazioni diverse tra loro e fornendo un rilievo morfologico, materico, compositivo, strutturale e tipologico di un oggetto ai fini propri della sua conoscenza ma anche della catalogazione e divulgazione del bene. Si procede infatti da uno studio critico del monumento, se ne estraggono scientificamente i significati e se ne ripropone una soluzione complessiva di insieme che, nel caso del Borgo, diventa una versione materializzata al vero, nelle esemplificazioni moderne, in un modello 'navigabile' del complesso analizzato.
Il rilievo diventa lo strumento in grado di assorbire al suo interno informazioni differenti; per Fasolo esso serve per *leggere l'architettura per mezzo del disegno*, valido strumento per l'approccio al progetto e diviene un elemento sicuramente insostituibile da qualsiasi fotografia o fotogrammetria. "E il perché è semplicissimo: nel *disegnare* l'architettura, l'architetto la «ricostruisce» mentalmente, comprendendone il lessico e la grammatica, così come fa colui che intende leggere un messaggio scritto per memorizzarlo: non sarà certo uno sguardo ad una fotografia, o una semplice fotocopia del messaggio, a consentire il passaggio attraverso il cervello, e la debita, corretta memorizzazione da parte del soggetto, dei suoi contenuti"[13].
In questo modo, una volta disegnato un oggetto, esso ritornerà alla memoria di colui che l'ha riprodotto attraverso il procedimento grafico sotteso, portando quindi a far proprio un bagaglio culturale di conoscenza.
Considerazioni analoghe vengono enunciate anche da Docci che definisce il rilievo architettonico come quell'operazione "volta a conoscere l'opera nella sua globalità; rilevare quindi significa innanzitutto comprendere l'opera che si ha davanti, penetrare la realtà profonda, coglierne tutti i valori, da quelli dimensionali a quelli costruttivi, da quelli formali a quelli culturali"[14]. È in questo senso che il rilievo viene considerato da molti come atto di comprensione profonda dell'oggetto indagato nell'intierezza e peculiarità delle sue componenti. Parlare di comprensione equivale quindi a condurre un'operazione di selezione critica sull'oggetto architettonico da rilevare e non quindi di una fedele e peddisequa riproduzione di un organismo architettonico, eliminare quindi il preconcetto secondo il quale l'operazione del rilievo consista in una fase essenzialmente manuale, in una meccanica presa di misure senza possibilità di valutazioni critiche.
Alla luce di queste premesse è possibile oggi introdurre l'aggetto *integrale* al rilievo, proprio per sottolineare quella lettura dell'opera architettonica nella sua totalità. Questo concetto trova oggi larga diffusione nelle tecniche di rilievo particolarmente innovative che permettono una

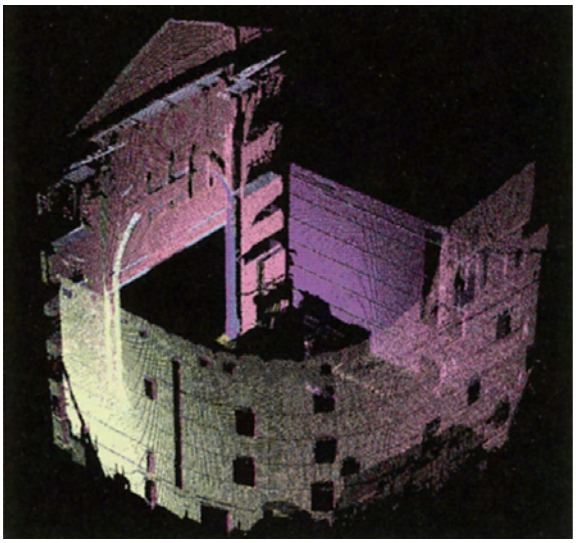


Fig. 5: Scansioni del rudere mediante laser scanner. Cfr. Aa.Vv., La Fenice ricostruita, Marsilio Editore, Venezia 1993, pag. 54.

Fig. 6: Plastico del soffitto della cavea in scala 1:10. Cfr. Aa.Vv., La Fenice ricostruita, Marsilio Editore, Venezia 1993, pag. 129.

ricostruzione tridimensionale dell'oggetto. Tale aspetto permette quindi una lettura sintetica delle caratteristiche geometriche, morfologiche e materiche dello stesso ed inoltre, avvalendosi di strumenti informatici, permette una navigabilità virtuale all'interno del manufatto edilizio. Differenti e sempre più sofisticate risultano essere le modalità di conduzione del rilievo proprio in ragione della costante evoluzione informatica e tecnologica alla base della realizzazione di questi strumenti.
In particolare, nel caso di studio presentato in seguito, si è cercato di sperimentare un metodo di approccio al progetto di restauro che potesse portare il più possibile ad una lettura completa e sintetica dell'oggetto edilizio, avvalendosi in particolare di un sistema informativo. La possibilità di servirsi di un modello virtuale in scala dell'edificio diviene un mezzo sicuramente utile ai fini delle documentazione, archiviazione e catalogazione dell'oggetto architettonico divenendo esso stesso strumento vero e proprio di progetto.
La ricostruzione mediante modelli tridimensionali alle diverse scale, seppur ancora oggi sia limitatamente utilizzata, si è dimostrata particolarmente utile ad esempio nel progetto di ricostruzione del teatro La Fenice come strumento e verifica delle operazioni effettuate. La realizzazione del modello avveniva in questo caso attraverso il rilievo con laser a scansione della muratura resistita all'incendio, che a sua volta è servita come base di progetto per le opere da pittore, per il controllo strutturale e per la valutazione delle ipotesi di intervento.
La possibilità per il progettista di lavorare al progetto avvalendosi di un modello in scala non è altro che, in termini più speditivi ed applicabili, quanto auspicato da Boito ed effettivamente condotto all'interno del progetto per il Borgo Medioevale di Torino.
In altra sede risulterebbe in ultimo opportuno concentrarsi nella analisi e nella valutazione di quali tecniche di rilevamento permettono la realizzazione di modelli tridimensionali applicabili al progetto. Seppur sotto forma di cenno, è possibile citarne almeno i principali e più moderni strumenti di rilevazione ad oggi particolarmente importanti per l'elevata precisione ottenibile: la fotogrammetria e il laser a scansione.
Per quest ultimo, in particolare, l'estrema flessibilità e libertà di manipolazione dei dati, permette, una volta ottenuta la nube di punti dal rilevamento, una successiva elaborazione che consente di ottenere, con tempi di acquisizione estremamente veloci, un unico modello tridimensionale dalla quale estrapolare una visione stereoscopica del modello, la totale misurazione dell'oggetto con calcolo di aree e volumi, il rendering del modello 3d, sezione e profili dell'oggetto rilevato fino alla ricostruzione delle caratteristiche materiche e cromatiche dell'oggetto aggiungendo informazioni sul colore.
Il passo successivo ha portato, proprio al fine di migliorare l'effetto visivo e le informazioni materiche sull'oggetto stesso, al montaggio sul modello tridimensionale di ortofoto.

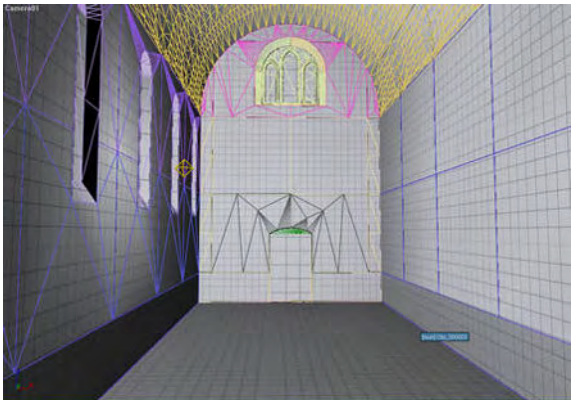


Fig. 7: Ricostruzione tridimensionale della cappella degli Scrovegni. www.giottoagliscrovegni.it.

Fig. 8: Successivo montaggio delle ortofoto sulle pareti affrescate sul modello tridimensionale. www.giottoagliscrovegni.it.

Il progetto diagnostico-investigativo

Una volta conosciuto il manufatto nelle sue caratteristiche costitutive, il passo necessario ai fini della progettazione dell'intervento, risulta essere l'investigazione del suo stato di salute. Pertanto risulta necessario effettuare una serie di riflessioni su cosa si intenda per diagnosi e soprattutto attraverso quali strumenti essa si concretizzi. È in primo luogo comunemente condivisa l'importanza della fase diagnostica come momento fondativo e sintetico di tutte le informazioni atte a definire un quadro conoscitivo preliminare all'intervento.
L'importanza primaria della diagnostica come strumento efficace di conoscenza e mezzo ope-

rativo per le scelte sull'intervento da effettuare viene espressa anche da Dezzi Bardeschi che arriva a formulare un vero e proprio "*elogio della diagnostica per il processo di conservazione*", ossia di quel momento progettuale sempre maggiore da dedicare per la definizione e la preparazione del progetto d'intervento. L'autore ritiene fondamentale questo processo come atto finalizzato sia a comprendere e risolvere problemi strutturali (quali ad esempio il consolidamento di elementi) sia a fornire chiavi operative per l'arresto dei fenomeni di degrado sulla consistenza fisica delle chiusure e dei materiali, ad esempio. L'importanza di questa fase consiste sostanzialmente nel vasto raggio di informazioni e conoscenze che essa racchiude ossia come "quell'imponente settore sperimentale della diagnostica che va dalle indagini preliminari, dalle analisi chimico-fisiche sui materiali ai sondaggi, per esempio geognostici, alle stesse prove di calcolo sull'edificio"[15].
Un importante spunto di riflessione deriva dalla definizione sintetica e completa di diagnosi proposta da Marconi come "momento della sintesi – eminentemente soggettiva – delle informazioni prima raccolte … e dunque il momento della valutazione conclusiva; alla *diagnosi* fa riscontro immediato la terapia"[16], intendendo con quest'ultima il progetto di restauro. Dunque, quanto affermato da Marconi, porta alla considerazione che la formulazione della diagnosi sottenda delle valutazioni di soggettività basate sulla capacità del singolo di avvalersi della propria personale formazione e della proprie capacità per tendere alla sintesi del processo progettuale come momento conclusivo. Questo aspetto è sicuramente condivisibile, ma forse può risultare interessante anche effettuare considerazioni parallele: se è vero che il processo diagnostico si basa sulla soggettività del singolo progettista, è altrettanto vero che, per raggiungere la sintesi al progetto di intervento, il progettista necessita di avvalersi di dati fondamentalmente oggettivi.
Certamente infatti i dati ottenuti tramite il processo diagnostico-investigativo derivano da tecniche fondate su principi fisici e matematici oggettivi fornendo contestualmente informazioni di totale imparzialità e obiettività. Dunque il processo diagnostico prende avvio da dati e strumenti caratterizzati da totale oggettività, che, in fase conclusiva, trovano risposta attraverso il momento di sintesi operativa al processo di intervento fornito dalla soggettività del progettista. Su questa costante antitesi tra oggettività dei dati forniti dal monumento stesso e soggettività del progettista chiamato ad interpretarli al fine di formulare le scelte di intervento si ferma a riflettere anche Feiffer che dichiara "è noto che la fabbrica risulta prezioso "documento" e diventa archivio e fonte inesauribile di sapere. È paragonabile ad un pozzo senza fondo, dal quale è possibile trarre in ogni momento dati e nozioni altrimenti impossibili da cogliere. L'ipotesi conservativa che emergerebbe ... non viene però condivisa dalla maggior parte delle teorie, il cui scopo è invece quello di rendere operative delle considerazioni personali, un giudizio, anzi il "giudizio" che non potrà essere mai definitivo e insindacabile perché troppo viziato dalla soggettività"[17]. Secondo l'autore, quindi, esiste il rischio di realizzare in un progetto di intervento la volontà del progettista a danno della materialità dello stato attuale dell'edificio che invece porta esso stesso l'inesauribile sapere conoscitivo di sé.
A far fronte al pericolo di una spinta soggettività del processo diagnostico, risiede l'assoluta im-

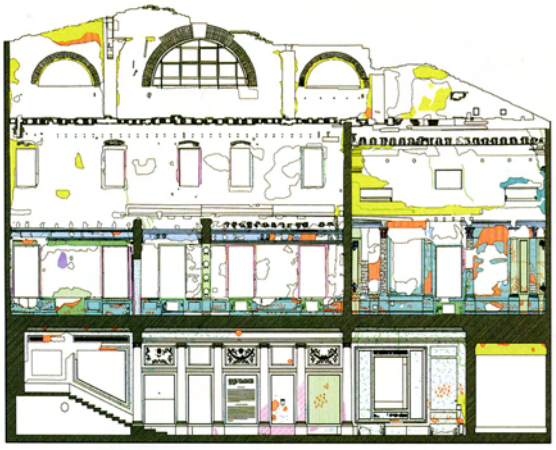


Fig. 9: Teatro "La Fenice" di Venezia: tavola relativa alla mappatura del degrado dell'apparato decorativo supersite redatto in occasione dell'appalto concorso. Cfr. RecuperoeConservazione n. 57, pag. 50.

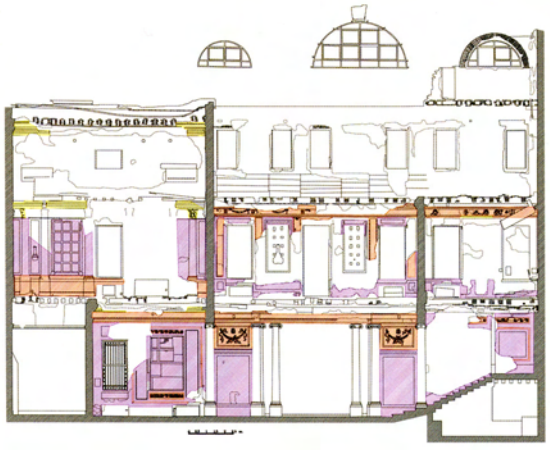


Fig. 10: Teatro "La Fenice" di Venezia: tavola relativa alla rilievo dell'apparato decorativo supersite redatto in occasione della variante. Cfr. RecuperoeConservazione n. 57, pag. 50.

portanza di avvalersi delle innumerevoli tecniche di indagine. Secondo quanto espresso da Dezzi Bardeschi uno strumento che rientra a buon diritto all'interno del ventaglio di tutte le indagini innovative è proprio la schedatura e la mappatura del degrado come vero e proprio strumento di progetto proprio perché la storia dell'edificio si manifesta nei segni del degrado. Egli afferma inoltre che la sintesi del processo diagnostico debba consistere nella realizzazione di una tavola che fornisca sinteticamente lo stato di degrado della fabbrica, con la possibilità di leggerne le diverse patologie in modo da permettere di non perdere di vista alcune informazioni che possono diventare motivi di studio o di conoscenza per altre questioni.
Se è vero inoltre che l'evoluzione investigativa viaggia parallelamente a quella tecnologica, il passo ulteriore è auspicabile nella realizzazione di banche dati costituite da memorie e da archivi automatizzati in grado di memorizzare e organizzare ordinatamente il sapere accumulato nel percorso diagnostico-conoscitivo su un manufatto, in funzione di una conservazione e trasmissione futura di quanto raccolto.
Rocchi infine dichiara il compito principale demandato al processo diagnostico, il quale dovrà essere in grado di definire l'origine, la causa e il processo che hanno innescato i fenomeni di degrado. Il soggetto unificante della pluralità di conoscenze ottenute è ancora il progettista a cui spetta il compito di interpretarle, confrontarle, integrarle e trasformarle in elementi operativi di progetto del momento diagnostico.
"La sintesi dei passaggi precedentemente tratteggiati conduce alla fase finale, quella della diagnosi, con l'avvertenza che può essere ritenuta definitiva … solo quando il controllo nel tempo dei risultati dell'intervento ne confermi la fondatezza"[18].
Con questa dichiarazione Rocchi evidenzia l'aspetto molto importante per un progetto del *controllo nel tempo* degli interventi. La valutazione dell'efficacia delle scelte progettuali di intervento nel tempo, a validità o meno della soluzioni adottate, è sicuramente un aspetto non trascurabile in quanto diventa la prova finale della reale riuscita dell'intervento, quindi dell'efficacia della scelta adottata a seguito del processo diagnostico-conoscitivo.
Per questo motivo, ad intervento concluso, è necessario valutare l'efficacia dell'intervento, consistente, ad esempio, nell'arresto di patologie riscontrate o di consolidamenti strutturali, avvalendosi degli stessi strumenti utilizzati in fase diagnostica ora aventi funzione di mezzi per la valutazione del controllo dell'intervento. La possibilità di poter usufruire delle stesse tecniche di indagine utilizzate in fase di progetto, permette inoltre un confronto molto utile per la valutazione pre e post intervento, attraverso l'ottenimento di dati analitici.
In conclusione, alla luce di queste considerazioni, si comprendono le ragioni per le quali si intende la fase di diagnosi come un momento in cui le scelte e le azioni devono essere *progettate* come garanzia della buona riuscita di un intervento sull'esistente. Significative risultano a questo proposito le parole di Dezzi Bardeschi che afferma: "si chiede prima di tutto di conoscere, per poter programmare i soli interventi prioritari strettamente indispensabili, poi di progettarli in tutti i loro dettagli, sconfessando un luogo comune di comodo che pretenderebbe che il restauro non si possa progettare, infine di eseguirli in un cantiere … capace in ogni momento di rivedere e modificare i propri obiettivi, per evitare comunque perdite inammissibili anche di semplici frammenti di quella cultura materiale che, in definitiva, costituisce la stessa sostanza intrinseca dell'opera d'arte e del costruito nel quale viviamo"[19].
In quest'ottica risulta quindi necessario procedere attraverso un'analisi delle innumerevoli tecniche e modalità investigative ai fini di comprendere le potenzialità offerte da ognuna di esse e dei risultati ottenibili.

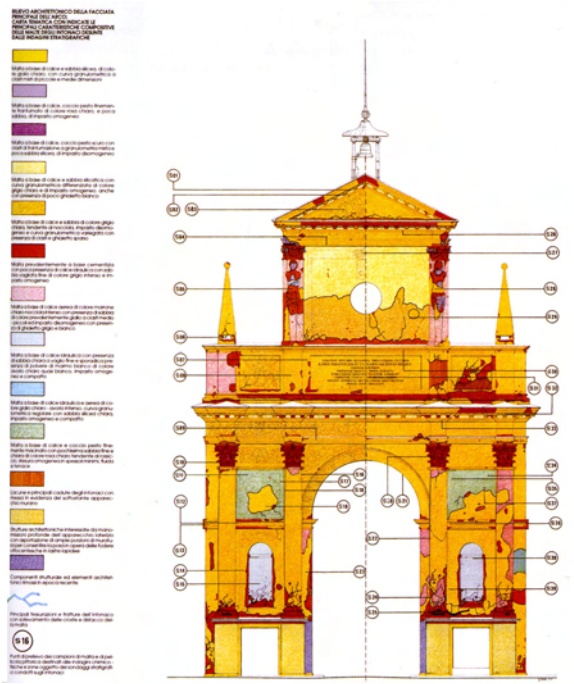


Fig. 11: Tavola di rilievo del prospetto principale nord-ovest dell'Arco di Chieri. Carta tematica dei degradi degli intonaci e indicazione dei sondaggi stratigrafici preliminari di restauro con indicazione delle principali caratteristiche compositive delle malte degli intonaci desunte dalla indagini stratigrafiche. Cfr. G. Gritella, Il restauro dell'Arco di Chieri in RecuperoeConservazione n. 62, De Lettera Editore 2005, pag. 24.

TECNICHE INNOVATIVE DI INDAGINE

In sintesi, gli strumenti in mano al progettista per condurre il processo diagnostico risultano essere proprio le tecniche di indagine. Se ci si concentra sui differenti tipi e sulle innumerevoli modalità di conduzione delle stesse, si comprende come sia assolutamente impossibile restare al passo, in quanto tali investigazioni si evolvono, parallelamente all'innovazione tecnologica, attraverso un costante miglioramento in termini di affidabilità dello strumento, del grado di precisione e dei tempi di esecuzione.
Risulta invece opportuno ed importante chiedersi quali siano le modalità con le quali esse lavorano sul monumento (cfr. ricordiamo la definizione, seppur semplicistica e forse superata, tra tecniche di tipo non distruttivo, parzialmente distruttive o totalmente distruttive) per comprendere le risposte attraverso la lettura offerta dalle prove stesse. Un continuo e costante confronto con le indagini è assolutamente fondamentale ai fini della redazione del quadro diagnostico, poiché le indagini risultano essere gli unici strumenti in grado di porsi come ausilio per la risoluzione di quesiti. Non in ultimo, l'importanza delle prove risiede, come si vedrà nel seguito, nella presenza ed applicabilità delle stesse trasversalmente in tutte le fasi del progetto.
Torsello esprime la teoria secondo la quale il lavoro analitico diventa l'elemento fondativo del progetto di intervento, in quanto risulta presente in tutte le fasi dell'oggetto architettonico indagato. A proposito del ruolo di assoluta trasversalità del lavoro di analisi in tutto l'iter progettuale, Torsello definisce la funzione del procedimento analitico triplice.

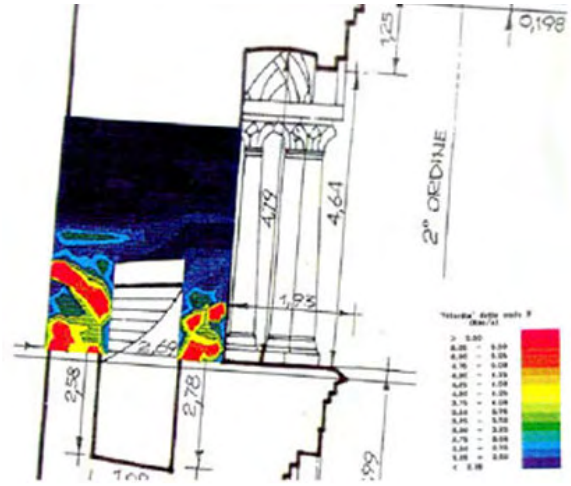


Fig. 12: Torre di Pisa: tomografia sonica della sezione verticale della zona critica che evidenzia la forte eterogeneità di fattura della muratura. Cfr. www.piazza.opapisa.it

L'analisi diventa quindi la modalità a cui approcciarsi al processo di conoscenza del manufatto (*prima* delle scelte di intervento); il metodo di registrazione dei lavori *durante* la fase di cantiere e, infine, l'elemento di controllo e di verifica *dopo* l'intervento di restauro. "L'azione analitica, in quanto fonte di continuo interesse investigativo, non soltanto precede, accompagna e affianca, ma anche segue il progetto e l'intervento di conservazione"[20]. Da tale assunto quindi è possibile partire per analizzare il complesso iter conoscitivo. Torsello dichiara infatti come l'operazione analitica necessariamente accompagni in tutto il processo progettuale i soggetti incaricati all'azione di restauro sul monumento in quanto composta da due caratteri, il "*fare* tecnico" e il "*vedere* analitico"[21], tra loro reciprocamente e indissolubilmente interrelati. Se si condivide questa affermazione, ne discende anche quale ruolo venga ad assumere l'indagine che, per dirla con le parole di Torsello, diventa il "momento costitutivo della conservazione stessa: ogni intervento è motivo di indagine e di conoscenza del costruito, come ogni fase dell'indagine è a sua volta produzione e accumulazione di sapere, quindi risvolto essenziale del conservare"[22].
Potrebbe essere interessante quindi analizzare dal punto di vista metodologico il rapporto e l'utilità tra il singolo dato ottenibile dal momento investigativo e l'insieme delle informazioni ottenibili ai fini delle scelte di progetto. Dal punto di vista metodologico-operativo vale di più la singola informazione ricavabile da una prova oppure risulta più opportuno avvalersi di più informazioni derivanti da prove differenti?
Per rispondere a questo quesito risulta forse

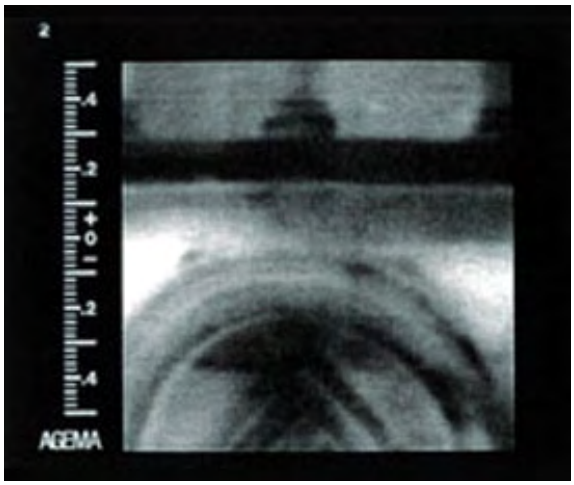


Fig. 13: Torre di Pisa: risultato della prova termografica che ha permesso di evidenziare la presenza di cavità nella muratura e identificare delle zone critiche all'interno della torre. Cfr. www.piazza.opapisa.it

significativo specificare meglio e chiarire cosa si intenda per utilizzo di più informazioni discendenti da prove differenti. Se infatti vengono effettuate sul manufatto architettonico una serie di indagini specifiche diverse tra loro, è necessario chiedersi in quale modo esse vengono analizzate e studiate. Più concretamente, l'efficacia di prove diverse tra loro ai fini della conoscenza viene raggiunta solo se le indagini sul manufatto non vengano semplicemente addizionate tra loro, ma se, ognuna di esse, sia un dato utile ad una lettura unitaria sull'oggetto indagato, ossia solo nel momento in cui si sia in grado di integrare tra loro le informazioni ottenute. Questo procedimento, per trasposizione, è, in realtà, ciò che già Quaroni aveva ampliamente argomentato in merito all'analisi di cosa fosse il progetto di architettura. Il monito riferito dall'autore è quindi proprio quello di non compiere l'errore sostanziale di considerare "simili l'integrazione o la somma, il semplice accostamento di più entità o la costruzione, con esse, d'un preciso sistema di rapporti"[23].
"Oltre a riconsiderare il dibattito e gli eventi in cui si è svolta la progettazione - fase che resta di fondamentale importanza per la comprensione dell'opera - l'indagine si inoltra agli sviluppi esecutivi del progetto, alle vicissitudini del cantiere, agli usi e alle trasformazioni successive; procede a una puntuale analisi della caratteristiche intrinseche dell'edificio; prende in esame i processi di degrado che questo ha subito nel tempo; riconsidera, parallelamente, le successive interpretazioni, come momenti della difficile storia culturale del monumento"[24].

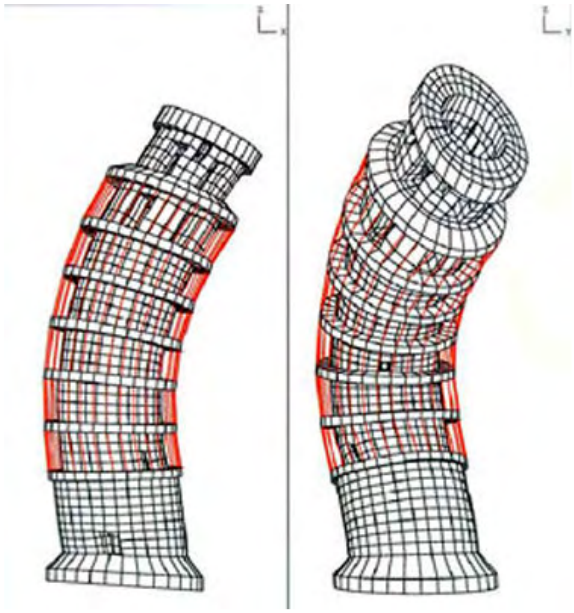


Fig. 14: Torre di Pisa: prove di modellazione dinamica ad elementi finiti al II modo di vibrare. Cfr. www.piazza.opapisa.it

A questo proposito il progetto di restauro e consolidamento della torre di Pisa rappresenta un esempio sapiente dell'uso delle tecniche di investigazione come strumento di conoscenza, progetto e controllo applicato trasversalmente all'intervento. Rimandando, per una conoscenza esaustiva dell'intervento all'ampia bibliografia in merito, vale in questa sede ricordare, seppur sotto forma di citazione, alcuni importanti aspetti che contraddistinguono il progetto. Dallo studio del metodo utilizzato si comprende come esso sia connotato da una forte componente specialistica e multidisciplinare che ha permesso, grazie anche all'importanza e alla ricchezza del monumento stesso, la conduzione di un enorme quantitativo di prove ed indagini. Dai risulti conseguiti dalle stesse è stato possibile comprendere gli importanti problemi strutturali ma anche ottenere informazioni storiche e materiche risultate preziose per la formulazione delle ipotesi dell'intervento. Le indagini, servite trasversalmente in tutte le fase di progetto, sono state utilizzate anche come controllo delle soluzioni proposte testandone gli effetti sul cantiere pilota della torre. Infine l'alto contenuto innovativo e sperimentale ha permesso anche la validazione di soluzioni reversibile monitorando la torre costantemente.

IL RUOLO DEL PROGETTISTA-RESTAURATORE

Alla luce delle considerazioni precedentemente condotte in merito al momento diagnostico-conoscitivo preliminare al progetto dell'intervento, è necessario inoltre focalizzarsi su un aspetto non trascurabile per la buona riuscita del progetto: il rapporto spesso contraddittorio e conflittuale che può scaturire dallo strumento tecnologico.
Se da un lato l'innovazione tecnologica è, come si diceva, in continuo miglioramento e progresso sia nelle tecniche sia nei dati di output ottenibili, essa stessa non può essere considerata garanzia della buona riuscita di un progetto di restauro. Nello stesso tempo, come è ben noto, l'innovazione tecnologica ha subito, e subisce, un processo di accelerazione che rende arduo (se non impossibile), l'aggiornamento operativo e scientifico sui campi di applicazione dei diversi strumenti diagnostici. La tecnologica è solo uno mezzo nelle mani del progettista e, solo da un uso sapiente e responsabile di essa, può diventare un ottimo strumento di investigazione e di conoscenza sul manufatto architettonico. In questo senso si ritiene necessario ripensare ad un nuovo ruolo del progettista-restauratore.
Non a caso infatti, Rocchi definiva *aggiornato* il compito del restauratore che deve "indagare nel modo più approfondito e con tutti i mezzi, il più possibile non invasivi, le diverse fasi di una fabbrica riconoscendone le varie epoche per

migliorare la conoscenza dell'oggetto, senza da ciò dedurne automaticamente il piano di intervento, che deve discendere da ben altre considerazioni"[25]. Si ritiene plausibile ritenere che le considerazioni di cui parla il Rocchi, discendano principalmente dalla capacità del gruppo di lavoro, fortemente eterogeneo nelle competenze dei suoi operatori, e in particolare del progettista coordinatore di saperi, di ottenere una lettura sintetica, integrata e conseguentemente operativa del progetto. L'elemento di collegamento tra la restituzione sequenziale di prove tra loro diverse e una interpretazione sintetica delle informazioni volta a definire una chiave di lettura progettuale deve necessariamente essere il progettista e, più specificatamente, la sua abilità a saper leggere e interpretare le potenzialità che ogni restituzione di prova può fornire, di singoli elementi e delle considerazioni che divengono esse stesse il punto strategico per l'intervento, in termini di definizione di scelte al progetto di restauro. Così come afferma Dezzi Bardeschi è necessario effettuare una *rivisitazione del mestiere dell'architetto* e dei suoi compiti.
Parafrasando le parole di Nervi, risulta chiara l'importanza per il progettista, come *coordinatore di saperi diversi*, di raggiungere la sintesi, elemento a cui tendere per le scelte antecedenti il progetto di intervento sull'esistente e, in senso più generale, qualsiasi progetto di architettura. In realtà, già negli enunciati di Viollet le Duc è possibile scorgere alcune argomentazioni a sostegno di questa tesi: "prima di cominciare bisogna analizzare tutto, esaminare tutto, riunire i minimi frammenti … e non mettersi all'opera fino a quando tutti questi elementi non abbiano trovato il loro posto come i pezzetti di un gioco di sapienza"[26]. Le indicazioni fornite dai più disparati campi della conoscenza, ottenuti prima di iniziare a *progettare* il progetto di recupero devono trovare una chiave di lettura ordinatrice che consenta al progettista di comprenderne unitariamente il messaggio a partire dalla globalità di indicazioni ottenute, e contemporaneamente di essere in grado di ritrovare l'informazione contenuta singolarmente da ognuno degli elementi conoscitivi ottenuto.
Se quindi il processo diagnostico si deve avvalere di indagini differenti appartenenti a campi disciplinari distinti, è chiaro che il progetto di conservazione si realizzi attraverso un lavoro costruttivo di *equipe* composto da un gruppo composito e multidisciplinare di specialisti.
In conclusione deve nascere la consapevolezza da parte del progettista di non essere più l'unico protagonista indiscusso del progetto e che il suo compito sia quello di coordinare le azioni dei tecnici specializzati chiamati ad intervenire avendo chiaro il fine ultimo del progetto. La difficoltà principale risiede nella capacità e nella competenza di discernere la metodologia più corretta per il caso in esame. Risulta chiaro come necessariamente il progettista, per compiere la sua azione costruttivamente, debba avere una competenza minima nelle diverse discipline, al fine di valutare l'effettiva utilità al caso specifico. Questo aspetto permette, durante la delicata fase diagnostico-conoscitiva, di discerne quali indagini investigative compiere e in quale zona significativa concentrale.
"Riteniamo quindi che la consapevolezza di svolgere nell'intervento di restauro un'attività interdisciplinare, o meglio, multidisciplinare, obbliga il restauratore e tutti quelli che vi partecipano, a dover essere, prima che specialisti in un singolo settore, disponibili ad un dialogo con le altre specializzazioni. questo fa si che si abbia non una sommatoria di esperienze disciplinari diverse, ma una convergenza di esperienze multidisciplinari"[27]. Da ciò si comprende chiaramente la necessità di considerare ogni singolo settore disciplinare facente parte di un tutto e che, conseguentemente, la strategia di lavoro consiste non nella focalizzazione in un singolo settore disciplinare, ma nella consapevolezza da parte degli operatori coinvolti di essere una parte di un tutto e che, solo una visione interdisciplinare, può quindi portare ad un esame unitario del progetto di conservazione.
Come coordinatore delle azioni deve essere in grado quindi di comprendere gli orizzonti delle tecniche di indagine, le loro potenzialità e i dati da essa ottenibili, lasciando la conduzione delle stesse ai tecnici specialisti. In questo modo può consapevolmente avere dialogo sulla scelta delle indagini da effettuare perseguendo l'obiettivo del progetto di intervento.

La conservazione programmata

Intorno alla logica basata sulla conoscenza dello stato di sofferenza del manufatto come origine per procedere al progetto di conservazione, è utile e necessario comprendere cosa si intenda per conservazione programmata.
Tale concetto nasce intorno agli anni Settanta con la figura di Giovanni Urbani, allora direttore dell'Istituto Centrale del Restauro (1974-1983). Egli sosteneva la necessità, nel progetto di restauro, di effettuare, prima di qualsiasi operazione, un'azione preventiva "ad ampio raggio", ossia fondata su una conoscenza approfondita del manufatto e delle sue interazioni con l'ambiente circostante. Ciò allo scopo di attenuare alla radice quei fattori ambientali di deterioramento che accelerano i processi di degrado. L'obiettivo che si proponeva Urbani, era quindi quello di studiare e analizzare tutti i mec-

canismi derivanti dall'ambiente circostante, quali ad esempio quelli di azione degli inquinanti atmosferici, degli eventi sismici o tellurici in quanto considerati una delle cause principali del loro deterioramento. Per fare questo egli riponeva piena fiducia nella ricerca scientifica, nel suo sviluppo e specializzazione e anche nel processo di diagnosi del degrado proprio in ragione del fatto che li considera i soli in grado di dare una risposta concreta alla valutazione dello stato di conservazione del monumento e di determinare le scelte di intervento. "Urbani [nda. quindi] assume il ruolo del paziente regista in grado di coordinare i diversi attori, lo storico dell'arte, lo scienziato e il restauratore, convinto che la strada della collaborazione e della ricerca di un linguaggio comune basato su un approccio tecnico-scientifico sia l'unica percorribile"[28].

Proprio in riferimento a queste considerazioni la Regione Lombardia, partendo dalla convinzione dell'assoluta necessità di elaborare e realizzare nuovi modelli e soprattutto nuovi strumenti di intervento sul patrimonio culturale ai fini di una più lunga permanenza e trasmissibilità al futuro, negli ultimi anni, si sta attivando per far crescere tra gli addetti ai lavori una cultura della conservazione programmata, proponendosi come guida per altre Regioni. A questo proposito, la Regione Lombardia in particolare, propone la formulazione di Piani di intervento basati sulla strategia della conservazione programmata. Tale concetto trova inoltre una sua naturale prosecuzione nelle direttive legislative, in particolare, all'interno della legge Merloni sui lavori pubblici. Infatti, all'articolo 16 (comma 5 della L. 109/94) si dichiara obbligatoria la redazione di

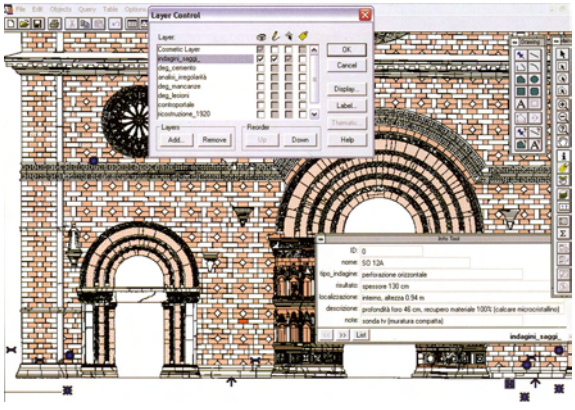


Fig. 15: Basilica di Collemaggio: esempio della cartella clinica GIS. Nella visualizzazione è attivo il layer delle indagini eseguite; i simboli, cliccabili, permettono di individuare la localizzazione; la tabella in basso a destra rappresenta un esempio di consultazione. Cfr. C. Bartolomucci, Una proposta di 'cartella clinica' per la conservazione programmata, da Arkos n. 5, 2004, pag. 63.

un Piano di manutenzione, che, all'articolo 40 del Regolamento di Attuazione, viene definito come un "documento complementare al progetto esecutivo, che prevede, pianifica e programma, tenendo conto degli elaborati progettuali effettivamente realizzati, l'attività di manutenzione dell'intervento al fine di mantenere nel tempo le funzionalità, le caratteristiche di qualità, l'efficienza e il valore economico"[29].

Come definisce la legge il Piano di Manutenzione deve contenere al suo interno il manuale d'uso, il manuale di manutenzione e il programma di manutenzione. In riferimento al campo dei Beni Culturali il concetto di manutenzione viene inteso dalla legge come "una serie di operazioni tecniche specialistiche periodicamente ripetibili volte a mantenere i caratteri storico-artistici e la materialità e la funzionalità del manufatto garantendone la conservazione"[30].

Secondo questa logica quindi, la conservazione programmata proposta dalla Regione passa proprio attraverso la redazione di un Piano simile per struttura, contenuti e finalità ai piani di manutenzione e ai suoi relativi documenti previsti appunto dal Regolamento. La Regione sottolinea in modo pienamente condivisibile, la necessità di estendere l'obbligo della redazione dei piani di manutenzione anche in riferimento ai Beni Culturali per i quali "il mantenimento dei caratteri storico-artistici, della materialità e della funzionalità del manufatto e la garanzia della conservazione richiedono la predisposizione di piani di manutenzione che affrontino in modo sistematico la globalità dell'opera. Solo un approccio manutentivo/conservativo, che coinvolga il bene architettonico nella sua globalità funzionale e nella sua dinamica realtà temporale,

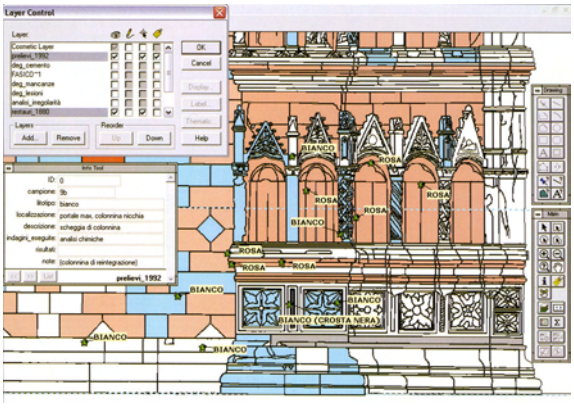


Fig. 16: Basilica di Collemaggio: esempio della cartella clinica GIS. Particolare dello stipite sinistro del portale maggiore in cui sono indicati i punti di prelievo di alcuni campioni. Il confronto con il layer dei restauri precedenti evidenzia che alcuni prelievi sono avvenuti sulle parti reintegrate, ora non più distinguibili. Cfr. C. Bartolomucci, Una proposta di 'cartella clinica' per la conservazione programmata, da Arkos n. 5, 2004, pag. 63.

può dare un'effettiva garanzia della sua conservazione"[31].
Un altro aspetto particolarmente importante si riferisce alla necessità e importanza di un continuo aggiornamento nel tempo dei piani di manutenzione e, in particolare, di una dettagliata registrazione delle fasi di cantiere. Queste considerazioni hanno posto in essere un altro importante punto: "il fatto che già in fase di cantiere sia necessaria una revisione dei piani comporta che sarà tanto più vantaggiosa una redazione dei piani stessi in formati facilmente aggiornabili: se redatti su supporti cartacei, la revisione significherebbe un rifacimento totale, quindi una frustazione ancora maggiore per il progettista, mentre se fossero redatti su supporto informatizzato la revisione risulterebbe più agevole, e aver costruito il supporto non sarebbe sentito come lavoro sprecato. Anche in questo senso la linea di ricerca imboccata con la produzione del prototipo di software dedicato sembra trovare un'incoraggiante conferma"[32].
In realtà una corretta strategia di conservazione programmata non può limitarsi alla realizzazione di un sistema informativo e dei problemi ad esso collegati in merito, ad esempio, alla rapidità di gestione delle informazioni e alla puntualità nell'archiviazione dei dati ma è sicuramente necessario ottenere una consapevolezza da parte degli utenti, siano essi pubblici o privati, del fine a cui si tende per costruire una mentalità partecipata e informata delle politiche di tutela adottate. In questo senso quindi l'obiettivo della conservazione non si riferisce soltanto a quello di preservare una testimonianza storica-architettonica di un oggetto ma anche di mantenerlo in efficienza, ossia allontanando i fattori di rischi di degrado strutturale, materico e patologico.

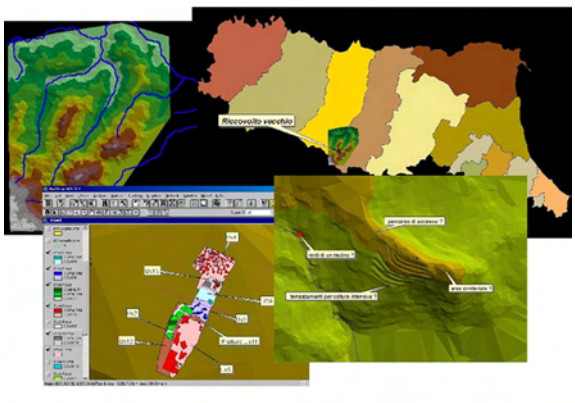


Fig. 17: Progetto Castelli: esemplificazione della matodologia di indagine applicata dalla scala territoriale fino a quella di localizzazione del singolo oggetto architettonico. Cfr. www.ibc.regione.emilia-romagna.it

L'attenzione e l'importanza per questo tema, per certi versi nuovo e non ancora approfonditamente studiato, viene sottolineata anche da Dezzi Bardeschi che afferma "Dopo il consolidarsi delle tecniche (manuali e strumentali) di rilevazione e del vasto settore della diagnostica e delle indagini non distruttive, ecco accendersi un nuovo segmento del progetto di cura: quello che si interroga sul "dopo intervento" e ne considera le necessarie verifiche periodiche (collaudi, manutenzione programmata)"[33].

LA REDAZIONE DELLA "CARTA DEL RISCHIO"

Tali considerazioni evidenziano una logica che tuttora sta assumendo sempre più importanza è proprio quella della gestione di più dati, tra loro diversi e apparentemente slegati, che forniscano esaurientemente una lettura sintetica e completa del manufatto, lettura che può avvenire anche attraverso l'uso di mappe tematiche in quanto realizzata su un'unica piattaforma di informazioni in grado di sintetizzare tutti i dati raccolti. "Pensare ad un disegno con struttura *cartografica*, configurandolo anzi come una cartografia *speciale*, estensione contigua di quella *ufficiale* del territorio. In ciò si concretizza anche l'importanza riconosciuta alle relazioni geometriche del costruito con il sito, la città, il territorio"[34].
Quanto espresso da Torsello può in parte riassumere il risultato ottenuto dalla Regione in merito alla operazioni di conservazione programmata. In particolare infatti, il progetto della Carta del Rischio nasce proprio in relazione alla volontà di recuperare gli obiettivi espressi da Urbani.
La Carta del Rischio del Patrimonio Culturale promosso dalla Regione Lombardia è un'iniziativa finalizzata a fornire ai responsabili

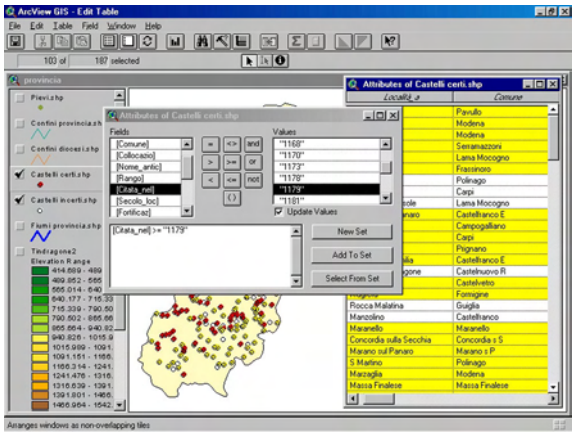


Fig. 18: Progetto Castelli: esempio di applicazione tramite la tecnica del GIS ai fini della catalogazione del territorio per la realizzazione di un SIT. Cfr. www.ibc.regione.emilia-romagna.it

della tutela sul territorio e alle Amministrazioni Comunali un valido strumento di supporto all'attività scientifica ed amministrativa, in quanto costituisce un sistema informativo territoriale (SIT) basato sulla volontà di fornire informazioni riassuntive di supporto alle decisioni operative. Questa iniziativa raccoglie, come si è detto, l'esperienza e l'approccio metodologico del Piano di Conservazione Programmata dei Beni Culturali in Umbria del 1975, il primo esperimento di valutazione globale dei fattori di degrado esteso ad un intero territorio. Il prodotto che si ottiene dalla Carta del Rischio è una scheda riassuntiva degli elementi analizzati che rispondono alle tre categorie di rischio valutate (rischio sismico, rischio ambientale-aria e rischio determinato da fattori antropici). Queste schede ottenute mediante la Carta del Rischio portano quindi ad una scomposizione dell'oggetto architettonico in merito, ad esempio, alla descrizione dei materiali, alla tecniche di lavorazione e di assemblaggio, alla interazione con altri fattori, ad eventuali trattamenti subiti. La redazione delle schede della Carta del Rischio diventano quindi dei veri e propri strumenti che riassumono l'attività che necessariamente deve precedere il progetto di restauro, vale a dire la predisposizione di un resoconto analitico e complessivo dello stato di salute dell'organismo architettonico e delle sue parti costituenti. In realtà esso non è altro ciò che viene inteso per manuale tecnico, ossia di quel oggetto che "non deve essere concepito come documento statico, predefinito, puramente burocratico; [ma] al contrario, esso costituisce lo strumento di lavoro che si evolve, si trasforma, si arricchisce nel tempo di esperienze, in sintonia con gli accadimenti che caratterizzano il "vissuto" dello specifico organismo architettonico. Il manuale tecnico è un documento "in progress", che consente di aggiornare nel tempo la conoscenza dell'andamento dello stato di salute del bene culturale e di supportare la messa a punto di eventuali ispezioni specialistiche e interventi ancora specialistici quando scattino le condizioni di rischio"[35].

Riassumendo, la catalogazione del territorio è oggi un tema centrale e di notevole importanza all'interno degli Enti Istituzionali, quali Stato e Regione, che si stanno adoperando per mettere a punto delle linee-guida per la georeferenziazione del patrimonio assumendo il rischio di perdita del patrimonio culturale come criterio per l'individuazione delle priorità dell'intervento in quanto la conoscenza della sua distribuzione sul territorio diventa utile e necessaria per uno sviluppo consapevole della politica di settore, con particolare riguardo alla programmazione degli interventi di tutela, di conservazione e di pianificazione urbanistica. La rappresentazione cartografica del livello di rischio diventa quindi un modo sintetico di visualizzare queste informazioni per la conservazione del patrimonio culturale e come valido mezzo per la pianificazione urbanistica.

Il Sistema Informativo Territoriale, detto anche GIS (*Geographic Information System*), diventa quindi lo strumento informatico più adatto per raggiungere tale scopo proprio perché permette di visualizzare, attraverso rappresentazioni cartografiche tematiche, i fenomeni che si vogliono analizzare e conoscerli nella dimensione territoriale e temporale. Considerando questi fattori, la ricerca condotta durante gli anni di dottorato, ha cercato di creare una possibile linea di continuazione ideale tra la catalogazione del territorio fino alla scala più dettagliata del singolo manufatto architettonico.

In questa logica di catalogazione del patrimonio alla scala territoriale, che porta alla redazione di mappe tematiche e di un sistema informatizzato che rende conto in modo sintetico dello stato di fatto e di conservazione del territorio ai fini della sua catalogazione, si può scendere ulteriormente di scala e adottare questa metodologia anche per il singolo edificio. Questa trasposizione di informazioni permette quindi un uso sempre più allargato di questi strumenti e di introdurre in una medesima logica sia l'oggetto indagato sia il territorio in cui è inserito, in modo da creare un database, un archivio di informazioni che diventa un vero e proprio strumento di progetto.

Ad esempio, nel progetto di recupero, in cui la fase di indagine e di conoscenza diventa essa stessa un momento del processo progettuale, schede navigabili e aggiornabili dell'edificio indagato permettono, poiché riassunte in un unico oggetto, una facile lettura storica, materica, dello stato di fatto e di conservazione, delle prestazioni residue fino al rilievo delle patologie e del degrado. Questo permette quindi una visione sintetica, operativa ma soprattutto quantitativa ossia fondata su dati matematici misurabili. In un'ottica di rilevamento, che passa dalla scala territoriale a quella del singolo edificio, è chiaro che risulta necessaria una fase di ripensamento anche delle metodologie di rilievo e del modo di sintetizzare queste informazioni.

Proprio a seguito di queste considerazioni e dello studio di prime applicazioni in merito è nata la volontà di sperimentare su un caso di studio reale la possibilità di sintetizzare su un unico supporto informatico tutte i dati ottenuti ed ottenibili sulla fabbrica come naturale conseguenza della complessità propria di un progetto di intervento e di gestione delle informazioni acquisite durante il momento diagnostico-investigativo.

I SISTEMI INFORMATIVI PER LA CATALOGAZIONE

Come affermato precedentemente l'assunto intorno al quale discendono le considerazioni qui presentate si generano secondo la convinzione che la chiave di lettura per una corretta scelta progettuale discenda nella correttezza del quadro diagnostico-conoscitivo preliminare. È proprio partendo da una citazioni di Dezzi Bardeschi che ha preso avvio la volontà di sperimentare un metodo scientifico basato sul supporto informatico in grado di raccogliere in maniera integrata e sintetica tutte le informazioni raccolte intorno alla fabbrica in esame, intendendo con esse i rilievi geometrici, materici e morfologici, le immagini di dettaglio, i grafici e le tabelle relative alle indagini condotte, il quadro patologico con conseguente mappatura dello stato di conservazione. Partendo dall'assunto che intervenire sulla fabbrica, per l'autore, equivale a rallentare il processo di degrado materico e strutturale di essa e a garantire una sua consistenza nel tempo, egli avverte la necessità di compilare una "cartella clinica dell'attuale status di degrado e dei sintomi in fieri, ossia di compiere un rigoroso accertamento quantitativo preliminare all'intervento delle sue condizioni, come a dire un check-up completo"[36].

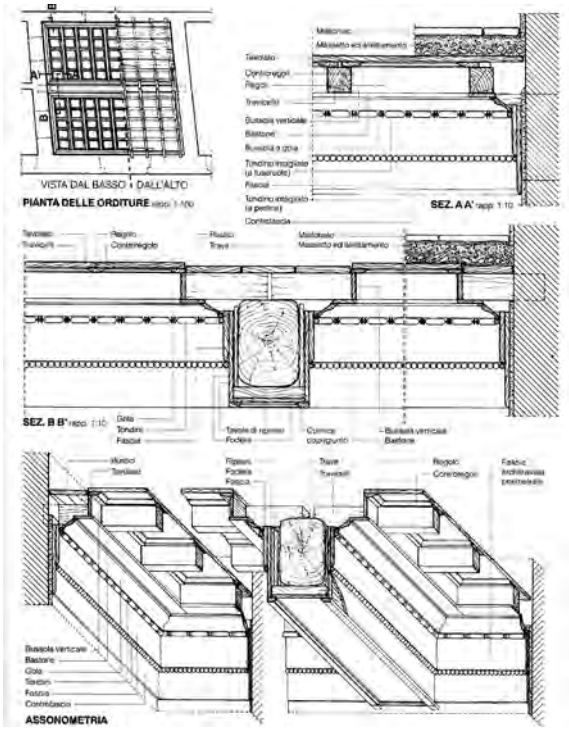


Fig. 19: Dettaglio costruttivo di un solaio a cassettoni: pianta delle orditure in scala 1:100, sezioni trasversali e longitudinali in scala 1:10 e vista assonometria. Cfr. F. Giovanetti, a cura di, Manuale del Recupero del Comune di Roma, seconda edizione ampliata, edizione DEI, Tipografia del Genio Civile, Roma 1997, tavola 23 pag. 191.

Quindi l'azione del conoscere diventa anche in questo caso, azione preliminare a quella dell'intervento e le modalità attraverso le quali essa deve compiersi sono quelle di una determinazione e valutazione completa e sintetica dello stato di consistenza fisica e materica della fabbrica in esame. Un altro aspetto rintracciabile nelle sue parole si riferisce all'estrema modernità delle argomentazioni sottese a questa affermazione e alla necessità di una visione unitaria ma soprattutto sintetica dell'oggetto, tramite appunto una "cartella clinica", concretizzabile prima attraverso una totale fiducia nei confronti delle informazioni sempre più sofisticate e approfondite ottenibili attraverso il progredire dello sviluppo tecnologico e oggi, grazie all'utilizzo di sistemi informatici per ottenere uno strumento in grado di raccogliere in sé tutti i dati e le informazioni inerenti e proprie dell'edificio indagato.
Tali affermazioni discendono in realtà come

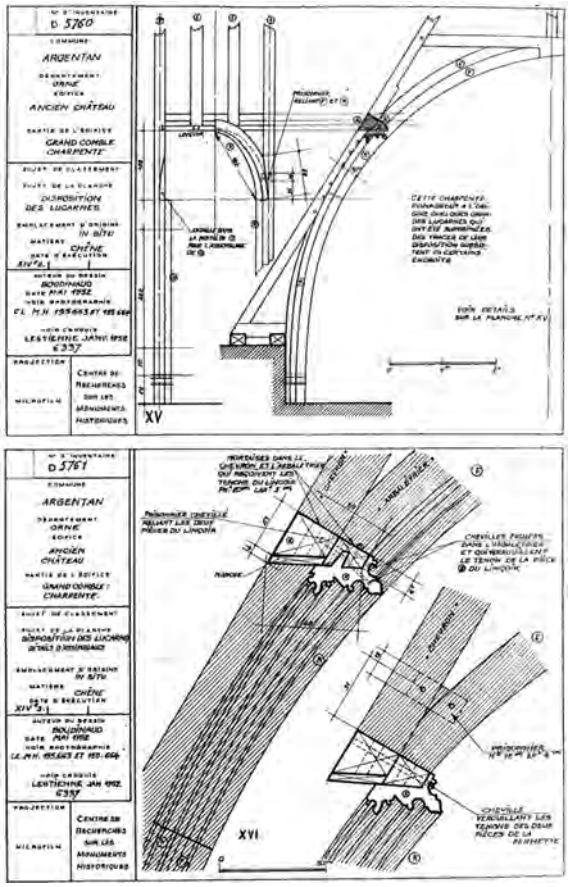


Fig. 20: Boudinaud, agosto 1954. Dettaglio della disposizione degli abbaini, Encyclopéedie Ministère de la Culture et de la COmmunication – Direction du Patrimoine – Centre de Recherches sur les Monuments Antiques. Scheda di rilievo di dettaglio architettonici. Cfr. P. Marconi, Il restauro e l'architetto. Teoria e pratica in due secoli di dibattito, Saggi Marsilio, Venezia 1993.

conseguenza delle metodologie di catalogazione sorte principalmente in Francia con le prime corporazioni atte alla redazione di manuali quali *Encyclopédie des Métiers* (1985) scritta, disegnata ed edita dal Compagnonnage du Devoir. Tali manuali contenevano al loro interno schede di catalogo dettagliate che rispecchiavano appunto un'attenta politica di catalogazione dei beni. In seguito all'esempio francese, anche in Italia sorsero i primi manuali considerati sempre più come veri e propri strumenti didattici utili per le logiche di manutenzione ordinaria e straordinaria. I primi esempi furono il *Manuale del Recupero di Roma* (1989) e il *Manuale di Recupero di Città di Castello* (1990) che, rispetto a quelli francesi, possedevano maggior organicità di informazioni e un disegno grafico migliore ed esauriente. In realtà, dalle prime metodologie di applicazione dei principi della catalogazione, alcuni studiosi evidenziano un ruolo sempre più importante anche ai fini della catalogazione come strumento di progetto.

Torsello, ad esempio, ha evidenziato il valore dei dati non soltanto nell'ottica di un'accumulazione del sapere o del raggiungimento degli obiettivi da cui è partita la ricerca, ma anche e soprattutto "come materiale sempre utile per nuove indagini e interpretazioni, a condizione che non vadano distrutti o alterati, e che siano anzi conservati nell'intierezza del loro contenuto"[37]. Affinché la conservazione dei dati risulti efficace a questo fine, sarà quindi necessario che gli stessi possiedano carattere di comunicatività, oggettività e verificabilità; che siano interfacciabili e che permettano un continuo aggiornamento per possibili approfondimenti, integrazioni e correzioni e, conseguentemente, trascritti e registrati attraverso un sistema informatizzato. L'importanza dell'inequivocabilità ed oggettività dei dati, nell'ottica di una catalogazione, in realtà, è stata riconosciuta anche nelle prime formulazioni teoriche, ad esempio, di Boito che esprimeva l'assoluta opportunità, ad esempio, di incidere in ciascun pezzo rinnovato la data del restauro o altri segni convenzionali.

Analogamente, Dezzi Bardeschi considera la catalogazione dei beni culturali una possibile direzione atta a minimizzare, da un lato, i danni provocati da calamità naturali, quali eventi sismici ad esempio, e, dall'altro, per interventi di conservazione. L'aspetto prioritario consiste quindi nell'aggiornamento e nella capillare compilazione dei cataloghi. La ricerca in questo senso, auspicata da Dezzi, è ancora indirizzata verso la scelta dei criteri di catalogazione. La situazione attuale infatti porta ancora alla compilazione di matrici di catalogo di tipo prevalentemente descrittivo e selettivo. Dall'analisi di dati sintetici e sommari sarebbe opportuno invece tendere verso descrizioni più complesse, volte ad analizzare, ad esempio, la consistenza materica dell'oggetto, il suo stato di degrado in riferimento all'analisi del contesto fisico e culturale di appartenenza. Il fine a cui si dovrebbe tendere è volto quindi alla conoscenza della *anatomia* del manufatto, ottenendo quello che l'autore definisce come *identikit della fabbrica*. "L'inventario dovrebbe fornire, su ben più rigorose basi analitico-descrittive riferite soprattutto alla natura dei materiali che compongono l'oggetto, aggiornate informazioni sulle condizioni attuali di consistenza e le possibili previsioni della evoluzione del degrado in modo da

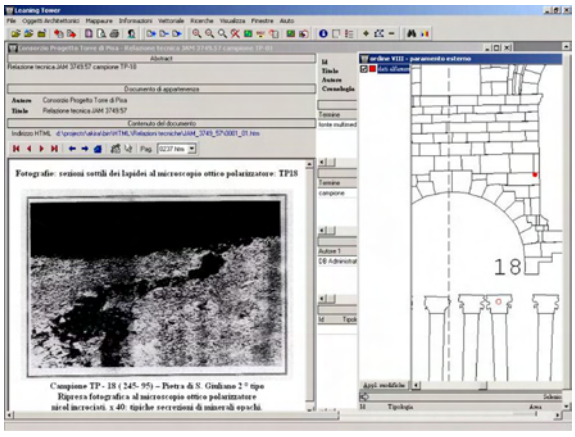


Fig. 21: Schermata del programma Akira Gis Server: mappatura di dati alfanumerici utili ai fini della georeferenziazione. In essa è possibile notare la rappresentazione geometrica nelle due dimensioni del litotipo indagato, la relativa indagine mediante sezione sottile al microscopio polarizzatore e la relativa documentazione. Cfr. www.cribecu.sns.it/

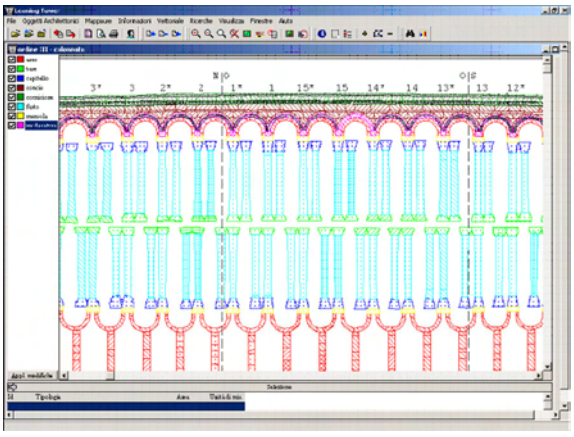


Fig. 22: Schermata del programma Akira Gis Server: rappresentazione geometrica del monumento scomposto nei suoi elementi costitutivi (arco, base, capitello, concio, cornicione, fusto, mensola e modanatura). L'organizzazione in layer distinti permette la lettura anche di singoli elementi mediante l'accensione o lo spegnimento del livello indagato. Cfr. www.cribecu.sns.it/sicom/learning_tower.

offrire tempestive indicazioni utili per programmare gli interventi di manutenzione (priorità, fasi temporali, modi di approvvigionamento dei materiali necessari e dei relativi mezzi di cantiere), nonché indicazioni sui settori prioritari nei quali indirizzare la ricerca scientifica"[38].
Da queste considerazioni si evidenzia come il concetto di catalogazione stia subendo una revisione dei suoi aspetti costitutivi. Pur mantenendo un valore documentario e archivistico, la catalogazione è sempre più considerata dagli studiosi un vero e proprio strumento non solo di conoscenza ma anche di progetto. Un caso particolarmente significativo di questi concetti risiede, come si vedrà in seguito, nel progetto di restauro e consolidamento della torre di Pisa, durante il quale è stato realizzato un software apposito progettato per documentare lo stato di conservazione delle superfici lapidee. Questo strumento riassume in sé molteplici possibilità d'uso che vanno dall'archiviazione alla consultazione per tecnici, alla visualizzazione ed elaborazione statistica con conseguente divulgazione dei risultati.

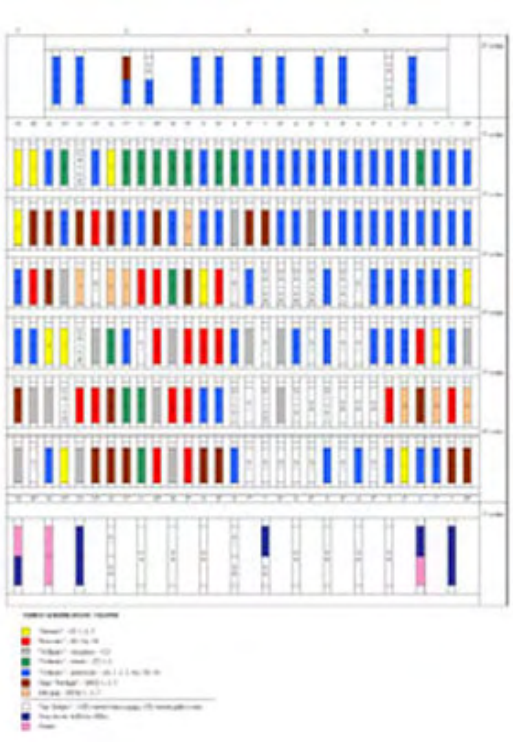


Fig. 22: Esempio di applicazione del software come strumento di progetto: redazione di una mappa delle sostituzioni con diversi tipi di marmi apuani delle colonnine nei loggiati della torre, originariamente in marmo di San Giuliano. Cfr. www.piazza.opapisa.it

La realizzazione di un database come strumento di progetto

Oltre alla esemplificazione metodologica di approccio al progetto delineatasi all'interno della tesi, si è cercato inoltre di comprendere e di approfondire la questione relativa alla gestione della molteplicità ed eterogeneità delle informazioni raccolte, in quanto si ritiene essere un problema nodale ai fini di una conoscenza completa del quadro diagnostico-patologico nel tempo. Negli ultimi anni questi aspetti risultano essere il fondamento di studi dei teorici del restauro e non solo in quanto aprono un capitolo ancora poco studiato per il progetto di intervento. A questo proposito Treccani commenta: "E' mancata, in sostanza, una revisione complessiva dei modi di pensare *il* progetto specialmente alla luce delle nuove potenzialità messe a disposizione dall'informatica, vantaggi che evidentemente non sono solamente "tecnici" (quali quelli di velocizzazione dei tempi, maggior precisione e puntualità, opportunità di compilare e gestire capitolati sempre più specialistici, ecc…) bensì culturali. Si è visto come in genere i sistemi informatici si adoperino allo scopo di ottimizzare le procedure consuete, ma all'interno di una logica del progetto che si mantiene tradizionale. Alla luce di queste mutate condizioni varrebbe la pena di considerare come il problema che si ha di fronte oggi non sia riduttivamente quello di migliorare la "qualità" dell'apparato tecnico-grafico che precede l'intervento, neppure di affidarci entusiasticamente a quelle che si stimano le infinite possibilità aperte dall'informatica, ma di ripensare in termini culturalmente fondati al significato del progetto"[39].
Alla luce delle considerazioni precedentemente delineate in merito alla necessità di redigere dei piani per la conservazione programmata e della fiducia riposta nei sistemi informativi come strumenti in grado di stare al passo con le continue mutazioni in fase di progetto ed esecuzione, nasce il tentativo di ipotizzare e sperimentare uno strumento informativo in grado di porsi come soluzione atta a gestire la complessità dei dati desunti dalla fase diagnostico-investigativa e nel contempo divenire un valido strumento di progetto a disposizione dei tecnici. In realtà, la struttura stessa del database permette di rispondere a molteplici e differenti esigenze proprio in ragione del sua caratteristica principe di elevata flessibilità nell'uso e di strumento continuamente aggiornabile ed implementabile.
Proprio perché esso si configurare come una sorta di piattaforma ordinatrice di dati ed informazioni essa permette facilmente di assolvere la funzione di divenire strumento stesso di archiviazione dei dati utile non solo ai fini di una

divulgazione conoscitiva anche a non esperti nel settore, ma diviene anche valido mezzo di trasmissione delle informazioni anche alle generazioni future. Questo non solo nell'ottica, seppur importante, di divulgazione delle caratteristiche di un bene, ma anche, in termini più specifici ed operativi, di trasmissione del background conoscitivo ottenuto preliminarmente al progetto di intervento. Questo significa quindi che le future generazioni di restauratori potranno conoscere nel dettaglio le scelte di intervento operate ma anche le indagini e le deduzioni effettuate relativamente ai materiali o alla conoscenza storica della fabbrica; vale a dire, in termini operativi, di non partire da zero con la fase preliminare di diagnosi, ma implementare quella precedente.
Alla luce di tali considerazioni un tale strumento risulta facilmente accessibile via web anche da esperti nel settore che in luoghi diversi possono accedere agli stessi dati e informazioni ottenute e lavorare in sinergia ai fini del progetto. Esso risulta quindi uno strumento vero e proprio di progetto sia durante la fase di scelte di intervento ma anche a restauro avvenuto. In particolare esso può ragionevolmente proporsi per la gestione dei costi dell'intervento ai fini della sua manutenzione nel tempo. È chiaro infatti che una lettura puntuale dei tipi di intervento da effettuare con relativo costo da voce di capitolato può speditamente calcolarsi in termini di superficie interessata all'intervento all'interno del database stesso.
Come si vedrà successivamente, si è scelto di impostare il database usando un programma in commercio basato sulla logica del GIS, le cui caratteristiche verranno ampiamente commentate nel seguito.
Il modello di costruzione del programma discende dallo studio preliminare condotto circa lo stato dell'arte su quanto di simile e vicino sia stato sperimentato fino ad oggi. Esso infatti si presenta come un argomento di elevata attualità ad oggi applicato soprattutto alla scala del sistema territoriale e alla realizzazione delle Carte del Rischio di un territorio. Contemporaneamente la Regione Lombardia in particolare ha espresso pubblicamente la necessità di procedere attraverso un sistema di conservazione programmata al fine di mantenere nel tempo i Beni Architettonici e Culturali. L'idea di costruire un programma così strutturato nasce proprio dalla constatazione dell'esistenza di questi due filoni di ricerca all'interno dei quali sia possibile trovare un comune denominatore e un possibile ramo di sviluppo. Questa affermazione si basa sulla convinzione che, dalla logica di georeferenziazione del territorio, è infatti possibile scendere di scala fino ad arrivare a focalizzarsi su un singolo monumento. L'utilizzo di questo aspetto risiede nell'ottica della redazione di un piano di conservazione programmata, così come richiesto anche a livello normativo, che inevitabilmente comporta la necessità di procedere attraverso una conoscenza puntuale e precisa del monumento indagato, della sua storia e delle vicende costruttive, della sua composizione materica, del suo impianto morfologico, del suo stato di conservazione e infine tutti gli interventi di restauro pregressi. Solo allora sarà quindi possibile arrivare a determinare in modo corretto e consapevole come intervenire su di esso. Allora la sperimentazione espressa nella presente ricerca risiede appunto nel tentativo di unire insieme questi strumenti per redigere, parafrasando le parole di Dezzi Bardeschi, una vera e propria *cartella clinica* del monumento-paziente come strumento utile di apprendimento della conoscenza in senso esteso del monumento e come guida alle scelte di intervento e di conservazione nel tempo.

LA SPERIMENTAZIONE DI UN SISTEMA INFORMATIVO ATTRAVERSO UN CASO DI STUDIO

A seguito delle considerazioni affrontate dal punto di vista metodologico, si è sentita l'esigenza, di sperimentare quanto sostenuto nella tesi attraverso una esemplificazione metodologica di approccio al progetto in un caso di studio reale.
In particolare ci si è concentrati su un edificio di alto valore storico-architettonico, il Ricetto del Castello di Lardirago nei pressi di Pavia di proprietà del Collegio Ghislieri.
In primo luogo si è cercato di applicare la metodologia di approccio al manufatto concentrandosi principalmente sulla fase diagnostico-investigativa ai fini di giungere a soluzioni consapevoli per il progetto di intervento.
Si è quindi proceduto con la tradizionale ricostruzione storico-critica con particolare attenzione alle vicende che hanno interessato il Castello e il suo Ricetto nei secoli, allo scopo di comprendere ragioni architettoniche negli elementi ora rintracciabili sul manufatto e ricostruire le vicende costruttive. Contestualmente sono state redatte le tavole di rilievo geometrico-morfologico dell'impianto planimetrico attraverso la tecnica tradizionale della triangolazione. La realizzazione degli alzati è invece avvenuta tramite l'ausilio di tecniche altamente sofisticate, ossia attraverso la procedura fotogrammetrica integrata alla realizzazione di fotopiani[40], immagini fotografiche raddrizzate completamente misurabili e assolutamente fedeli del fabbrica, in modo da ottenere di ogni fronte sia il supporto su disegno cad sia la relativa ortofoto. Immagini a così alta risoluzione non solo rendono visivamente lo stato di consistenza fisico e materico dell'oggetto indagato, ma diven-

tano anche e soprattutto veri e propri strumenti di progetto. Tale aspetto consiste ad esempio nella completa e fedele misurazione delle immagine di tutti gli elementi posti a tutte le diverse quote del manufatto indagato e, contemporaneamente, a seguito della possibilità di poter effettuare elevati ingrandimenti, permette la lettura, attraverso la testimonianza fotografica, del quadro materico e patologico anche in quote non raggiungibili dall'osservazione diretta.
Sulla base di questi preziosi supporti digitali, è stato successivamente possibile procedere alla redazione del rilievo materico dei prospetti del Ricetto. Esso è stato condotto prevalentemente in modo visivo e ove necessario mediante indagini documentali sulla bibliografia esistente o per confronto con campioni adeguati. Inoltre, per la facciata meridionale del Ricetto del Castello di Lardirago, la mappatura è stata ulteriormente approfondita grazie all'utilizzo di risultati derivanti da analisi chimico-petrografiche[41] del materiale lapideo. Si sono così classificati i materiali presenti nei diversi prospetti, riorganizzando i dati stessi con grafici e tabelle, e si sono riportate tali indicazioni su apposite tavole di rilievo ottenendo in questo modo una mappatura completa, indispensabile per comprendere meglio i fenomeni di degrado, sintetizzando la mappatura delle alterazioni superficiali in un'altra tavola condotta sulla stessa base dell'ortofoto. Complementarmente alla lettura macroscopica del materiale lapideo costituente le chiusure verticali del Ricetto, sono state eseguite[42], nel luglio 2005 alcune prese termografiche che sono servite per comprendere ed analizzare lo stato di conservazione. Si è infine proceduto alla redazione su una tavola delle ipotesi di conservazione.
La parte più innovativa ed originale della ricerca si è concentrata sulla sperimentazione di un database che potesse assolvere la funzione di sintesi di tutte le informazioni desunte durante la fase diagnostico-conoscitiva nell'ottica di *governare la complessità* del progetto.
Alla luce delle precedenti politiche di georeferenziazione del territorio, si ipotizza una possibile trasposizione al singolo manufatto edilizio nella convinzione che tale sistema di gestione dei dati possa avere nel tempo una reale applicabilità e rappresentatività anche alla scala dell'edificio e dei suoi dettagli.
L'idea di creare e di progettare un sistema di questo tipo nasce a seguito delle considerazioni fatte nelle parti precedenti della presente ricerca, che hanno messo in luce un'assoluta complessità a livello di metodo e di gestione delle

Fig. 23: Mappatura del rilievo materico redatta avvalendosi del fotopiani come base, condotta sul prospetto meridionale del Ricetto del Castello di Lardirago.

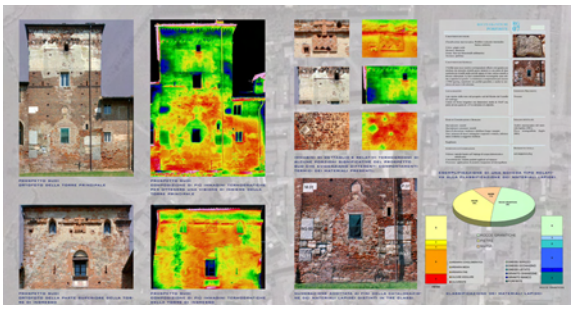


Fig. 25: Tavola riassuntiva delle indagini effettuate sul prospetto meridionale del Ricetto; si nota in particolare la prova termografica e le indagini di classificazione macroscopica dei materiali lapidei.

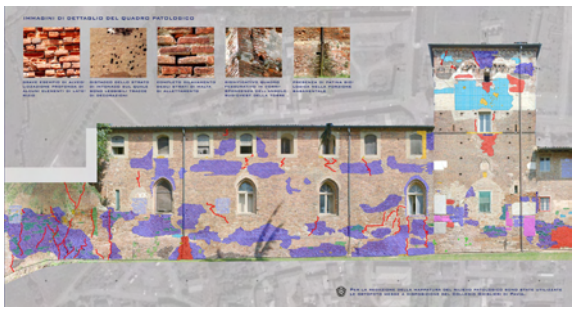


Fig. 24: Mappatura del rilievo patologico redatta avvalendosi del fotopiani come base, condotta sul prospetto meridionale del Ricetto del Castello di Lardirago.

Fig. 26: Mappatura del progetto di conservazione redatta avvalendosi del fotopiani come base, condotta sul prospetto meridionale del Ricetto del Castello di Lardirago.

risorse tecniche a disposizione nella formulazione delle scelte di progetto. Si ritiene, quindi, che, attraverso questo strumento, sia possibile andare a sintetizzare in un unico supporto tutte le informazioni ottenute su di esso, che vanno dalla documentazione storica e d'archivio al rilievo materico, patologico e alle diverse prove di investigazione conoscitiva effettuate. Il valore aggiunto legato all'utilizzo di un sistema di questo tipo discende proprio dalla possibilità non solo di consultare univocamente ed in modo disgiunto tutte le informazioni, ma di poter esaminare sinteticamente tutto ciò che si è ottenuto a livello conoscitivo su una zona specifica, fino al singolo concio di materiale.
La struttura che si è definita è di tipo piramidale partendo da un'immagine fotografica realizzata su base fotogrammetrica (ortofoto). Su di essa sono state redatte tutte le informazioni riguardo la mappatura dei materiali e del quadro patologico. La possibilità di poter lavorare su un'immagine (ortofoto) che al contempo possiede tutte le caratteristiche della tecnica fotogrammetrica, quali l'assoluta precisione alla scala millimetrica di quanto rilevato e la possibilità di poter misurare ogni singolo elemento ivi raffigurato, ha sicuramente implementato il grado di esaustività e completezza raggiungibile.
Oltre alle misure l'immagine ad alta risoluzione permette contestualmente la lettura della consistenza materica e morfologica dell'oggetto, rispondendo più positivamente rispetto alle prestazioni in termini visivi forniti da un sistema informatico. I dati sono così forniti sotto forma di tabelle, grafici, tavole cad, fotografie, ortofoto, schemi e rilievi, che insieme tendono a fornire un'unica informazione esaustiva su un elemento che si è deciso di indagare.

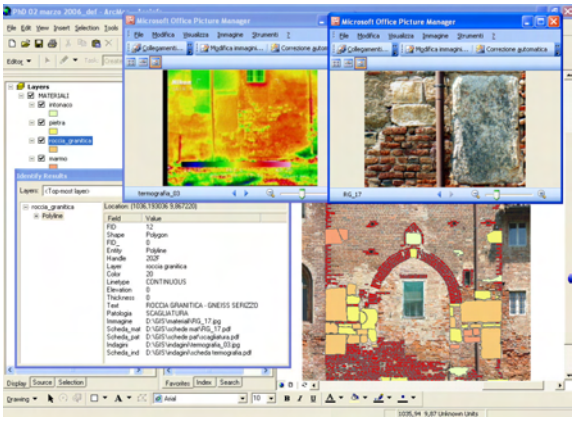


Fig. 27: Schermata del programma di ArcGis redatta sulla torre del Ricetto a Lardirago. Oltre alla mappatura degli elementi lapidei, è possibile, ciccando sul singolo concio, richiamare dall'archivio l'immagine di dettaglio, la tabella con tutte le relative informazioni sulla pietra e l'indagine termografica condotta.

Attraverso una tale lettura è possibile, sovrapponendo layers diversi, ottenere una visione sintetica d'insieme.
Per quanto concerne il rilievo materico, è possibile leggere la mappatura dei materiali su supporto dwg, ma anche immagini di dettaglio del singolo concio e schede in formato pdf che sintetizzano al loro interno informazioni circa le caratteristiche del materiale, la localizzazione e il suo stato di conservazione. È possibile, inoltre, avere informazioni circa eventuali interventi di restauro precedentemente effettuati oppure indagini di qualsiasi natura eseguite sullo stesso. Analogamente sono state riportate informazioni circa il quadro patologico che possono essere lette sia separatamente sia per sovrapposizione con altre voci, con la possibilità di approfondire il campo conoscitivo attraverso schede relative alla singole patologie formulate per aree campione. Per quanto riguarda le indagini effettuate sul manufatto, 'cliccando' sul singolo concio, è possibile accedere alle schede e alle relative prove effettuate su di esso.
Seppur sinteticamente descritta, si comprende come questa modalità di gestione delle informazioni e dei dati ottenuti sia continuamente aggiornabile ed implementabile parallelamente al progredire delle fase diagnostica e investigativa, ai fini della conoscenza e conservazione del manufatto. Avere infatti delle schede in grado di riportare tutte le informazioni ottenute sul singolo componente edilizio permette da un lato di conoscerlo integralmente ma, al tempo stesso, di utilizzarlo nell'ottica della conservazione programmata di esso al fine di valutare gli interventi effettuati e la loro relativa periodicità di utilizzo.

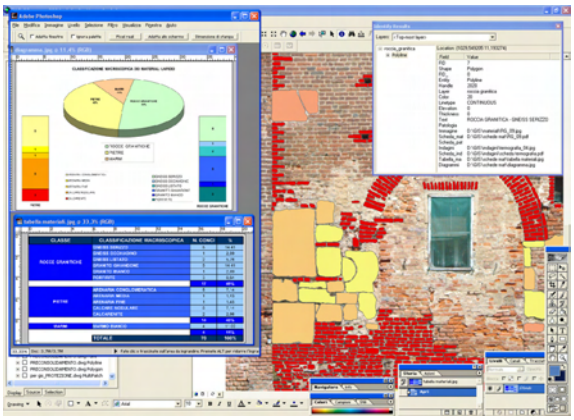


Fig. 28: Schermata del programma di ArcGis redatta sulla torre del Ricetto a Lardirago. Oltre alla mappatura degli elementi lapidei, è possibile, ciccando sul singolo concio, richiamare dall'archivio, ad esempio, le indagini macroscopiche condotte sui materiali lapidei ed in particolare i grafici e le tabelle di rielaborazione dati.

La gestione di queste informazioni è riportata, ad oggi, all'interno di schede statiche sintetiche, ma in realtà può essere restituita nel database del software utilizzato in modo da poterla leggere e modificare, da utenti predisposti, secondo modalità maggiormente speditive rispetto alla compilazione di schede in pdf da aggiornare con le nuove. Una volta organizzata una struttura logica di questo tipo, è facilmente comprensibile come la stessa possa essere, per trasposizione, pubblicata sul web come valido strumento di consultazione e di esempio per altri interventi sull'esistente. La home page, ad esempio, avrà all'interno del suo menù le stesse voci citate precedentemente, alla quali si potrà giungere attraverso diversi percorsi, in quanto tutte le pagine sono tra loro strettamente correlate. Questo offre inoltre la possibilità di scaricare direttamente tavole, schede o grafici in pdf.
Sono state così formulate due tipologie differenti di schedatura, una relativa ai materiali e una ai fenomeni patologici riscontrati.
L'organizzazione della scheda relativa ai materiali, nello specifico al materiale lapideo, comprende al suo interno una quantità di informazioni differenti. Ogni scheda è composta da un codice alfanumerico che permette di identificare univocamente il materiale in esame e un numero progressivo. Successivamente viene indicato il tipo di materiale in esame e ne vengono fornite le classificazioni chimico-fisiche con grado di dettaglio variabile a seconda delle prove ed indagini effettuate. Dalla lettura della scheda risulta poi possibile leggere le caratteristiche generali del gruppo di pietre a cui appartiene, la localizzazione della stessa e il suo relativo stato di degrado e di conservazione. Inoltre è possibile in essa appuntare eventuali interventi di restauro pregressi e le indagini effettuate.

L'organizzazione della scheda relativa ai materiali, nello specifico al materiale lapideo, comprende al suo interno una quantità di informazioni differenti. Ogni scheda è composta da un codice alfanumerico che permette di identificare univocamente il materiale in esame e un numero progressivo. Successivamente viene indicato il tipo di materiale in esame e ne vengono fornite le classificazioni chimico-fisiche con grado di dettaglio variabile a seconda delle prove ed indagini effettuate. Dalla lettura della scheda risulta poi possibile leggere le caratteristiche generali del gruppo di pietre a cui appartiene, la localizzazione della stessa e il suo relativo stato di degrado e di conservazione. Inoltre è possibile in essa appuntare eventuali interventi di restauro pregressi e le indagini effettuate.
Parallelamente alle informazioni scritte, sono inoltre riportate immagini fotografiche relative alla localizzazione del concio interessato sul prospetto e un'immagine di dettaglio della singola pietra investigata. La scheda riporta infine l'indicazione del retino con il quale è stata mappata sulle tavole cad e il riferimento relativo alla tavola tematica. In ultimo viene fornita sinteticamente un'ipotesi di intervento di conservazione del materiale alla quale si farà riferimento in modo più dettagliato nelle specifiche voci di capitolato.
La scelta di inserire all'interno di un'unica scheda tutte le informazioni precedentemente citate discende dalla possibilità di sintetizzare quanto di investigato e di conoscibile è presente relativamente ad un singolo elemento.
Inoltre, la possibilità di inserire queste schede all'interno della struttura stessa del programma, permette conseguentemente di potere modificare e aggiornare ogni singolo dato e conseguentemente tutte le informazioni ad esso correlate

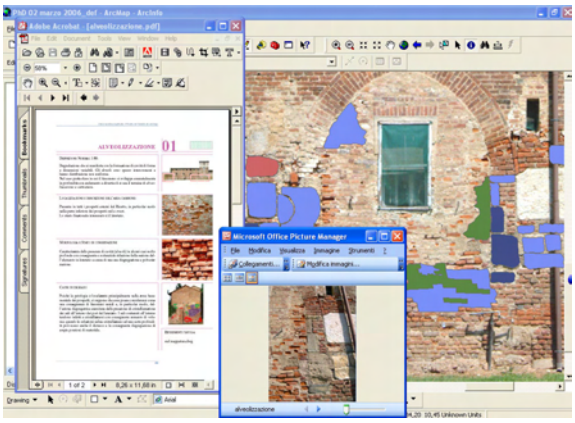


Fig. 29: Schermata del programma di ArcGis redatta sulla torre del Ricetto a Lardirago. In particolare, essendo acceso il layer delle patologie, è stata richiamata la scheda della patologia riscontrata sul concio ciccato.

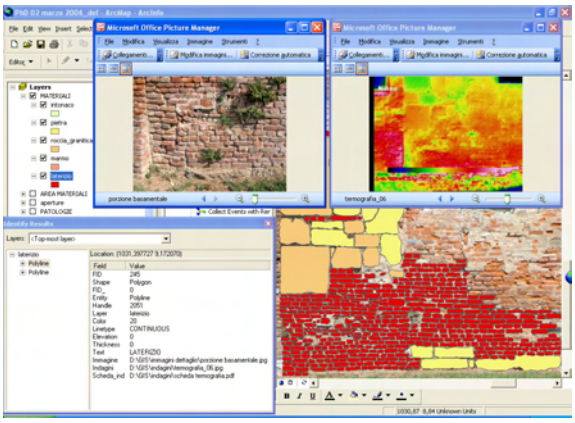
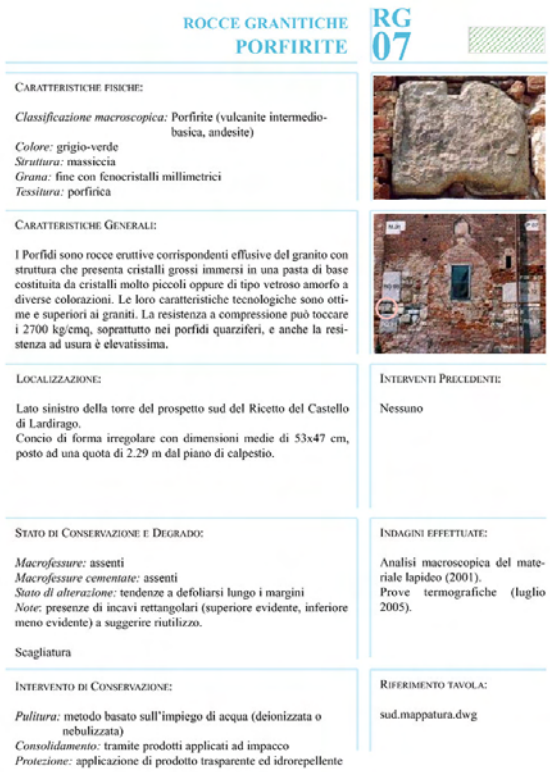


Fig. 30: Schermata del programma di ArcGis redatta sulla torre del Ricetto a Lardirago. La completa navigabilità del programma è applicabile su ogni singolo elemento.

in qualsiasi momento, senza dover confrontarsi con il limite inevitabile che una scheda in formato pdf ha, ossia relativamente alla sua sostanziale non flessibilità di poter aggiornare automaticamente i dati.
La struttura della scheda relativa alle patologie è organizzata in modo analogo a quella dei materiali. Data però la difficoltà di rintracciare una singola patologia in un punto specifico, in quanto spesso la presenza di una patologia è accompagnata da altri fenomeni di degrado, la schedatura è stata effettuata per aree campione. Ogni scheda è caratterizzata da un numero progressivo a cui potrebbe essere successivamente aggiunta una lettera per indicare il prospetto interessato. Di ogni patologia, viene fornita la definizione dalle Normal 1/88, il riferimento alla sua localizzazione e alla descrizione del fenomeno attraverso il suo stato di conservazione e le cause di degrado. Ad esse si accompagnano immagini di insieme relative alla sua localizzazione e di dettaglio della patologia investigata. Per una migliore lettura delle dislocazione della patologia, si è scelto di inserire, per ogni scheda, la mappatura relativa solamente alla patologia descritta.

In ultimo, come nel caso precedente, vengono forniti riferimenti circa la tavola cad in cui sono state mappate le patologie e il retino in cui rintracciare la mappatura del degrado sulla tavola.
Il retro della scheda riporta ipotesi possibili di intervento di conservazione, distinguendo le stesse per operazione da eseguire (preconsolidamento, pulitura, consolidamento e protezione) e materiali sui quali effettuarli.
Per la realizzazione e progettazione del sistema informatico stesso si è deciso, con il solo fine di verificarne la validità, di utilizzare un programma in commercio per la georeferenziazione territoriale (Arcgis 9.0) e di adattarlo alla scala del singolo monumento.
Si è scelto di utilizzare alla base un programma basato sul Gis proprio perchè tale tecnologia nata in ambito geografico, permette di associare un archivio di informazioni eterogenee (database) a una base grafica (cartografia o rilievo architettonico). Per questo motivo, attraverso l'utilizzo del GIS anche in campo architettonico, tutti i dati presenti nell'archivio hanno una collocazione fisica sul disegno "vettoriale" ossia su una base cartografica a cui sono associate le informazioni fino alla scala reale, in


ROCCE GRANITICHE
PORFIRITE
RG 07

CARATTERISTICHE FISICHE:

Classificazione macroscopica: Porfirite (vulcanite intermedio-basica, andesite)
Colore: grigio-verde
Struttura: massiccia
Grana: fine con fenocristalli millimetrici
Tessitura: porfirica

CARATTERISTICHE GENERALI:

I Porfidi sono rocce eruttive corrispondenti effusive del granito con struttura che presenta cristalli grossi immersi in una pasta di base costituita da cristalli molto piccoli oppure di tipo vetroso amorfo a diverse colorazioni. Le loro caratteristiche tecnologiche sono ottime e superiori ai graniti. La resistenza a compressione può toccare i 2700 kg/cmq, soprattutto nei porfidi quarziferi, e anche la resistenza ad usura è elevatissima.

LOCALIZZAZIONE:

Lato sinistro della torre del prospetto sud del Ricetto del Castello di Lardirago.
Concio di forma irregolare con dimensioni medie di 53x47 cm, posto ad una quota di 2.29 m dal piano di calpestio.

INTERVENTI PRECEDENTI:

Nessuno

STATO DI CONSERVAZIONE E DEGRADO:

Macrofessure: assenti
Macrofessure cementate: assenti
Stato di alterazione: tendenze a defoliarsi lungo i margini
Note: presenze di incavi rettangolari (superiore evidente, inferiore meno evidente) a suggerire riutilizzo.

Scagliatura

INDAGINI EFFETTUATE:

Analisi macroscopica del materiale lapideo (2001).
Prove termografiche (luglio 2005).

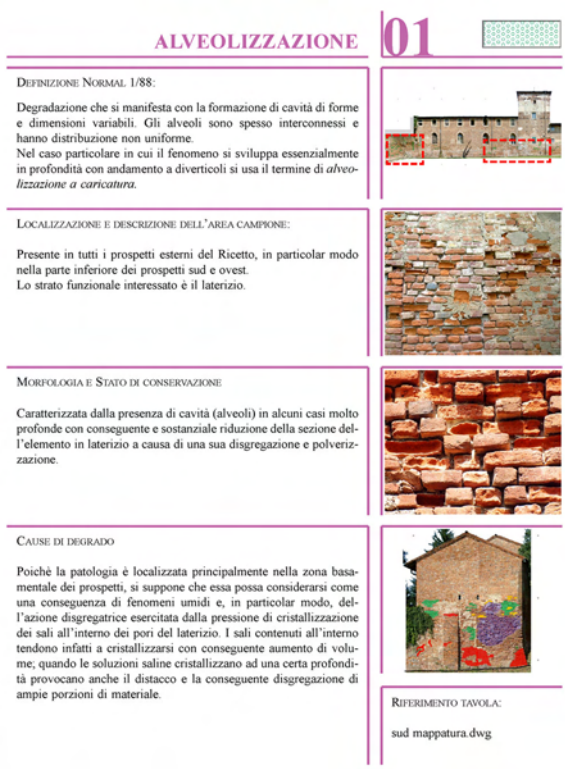
INTERVENTO DI CONSERVAZIONE:

Pulitura: metodo basato sull'impiego di acqua (deionizzata o nebulizzata)
Consolidamento: tramite prodotti applicati ad impacco
Protezione: applicazione di prodotto trasparente ed idrorepellente

RIFERIMENTO TAVOLA:

sud.mappatura.dwg

Fig. 31: Esempio di scheda riassuntiva delle informazioni ottenute su un singolo elemento lapideo. In essa sono riportate le caratteristiche fisiche, la classificazione macroscopica, le indagini, lo stato di conservazione, la sua localizzazione, cenni su ipotesi di intervento e relative immagini.


ALVEOLIZZAZIONE 01

DEFINIZIONE NORMAL 1/88:

Degradazione che si manifesta con la formazione di cavità di forme e dimensioni variabili. Gli alveoli sono spesso interconnessi e hanno distribuzione non uniforme.
Nel caso particolare in cui il fenomeno si sviluppa essenzialmente in profondità con andamento a diverticoli si usa il termine di *alveolizzazione a caricatura.*

LOCALIZZAZIONE E DESCRIZIONE DELL'AREA CAMPIONE:

Presente in tutti i prospetti esterni del Ricetto, in particolar modo nella parte inferiore dei prospetti sud e ovest.
Lo strato funzionale interessato è il laterizio.

MORFOLOGIA E STATO DI CONSERVAZIONE

Caratterizzata dalla presenza di cavità (alveoli) in alcuni casi molto profonde con conseguente e sostanziale riduzione della sezione dell'elemento in laterizio a causa di una sua disgregazione e polverizzazione.

CAUSE DI DEGRADO

Poichè la patologia è localizzata principalmente nella zona basamentale dei prospetti, si suppone che essa possa considerarsi come una conseguenza di fenomeni umidi e, in particolar modo, dell'azione disgregatrice esercitata dalla pressione di cristallizzazione dei sali all'interno dei pori del laterizio. I sali contenuti all'interno tendono infatti a cristallizzarsi con conseguente aumento di volume; quando le soluzioni saline cristallizzano ad una certa profondità provocano anche il distacco e la conseguente disgregazione di ampie porzioni di materiale.

RIFERIMENTO TAVOLA:

sud mappatura.dwg

Fig. 32: Esempio di scheda riassuntiva riguardo ogni specifica patologia riscontrata. Ne viene fornita una definizione e vengono individuate le zone colpite, fornendo ipotesi sulle cause di degrado e sulla morfologia dello stato di conservazione, oltre ad immagini di dettaglio.

modo quindi da poter selezionare e visualizzare i temi di interesse per quella specifica ricerca. Si può passare così dalla rappresentazione grafica alla consultazione diretta dell'archivio dati interrogando ogni singolo elemento grafico e visualizzando direttamente le tabelle del database. Il materiale grafico diventa quindi dinamico e permette la scelta di quali informazioni selezionare.
Inoltre, non in ultimo, il GIS permette la possibilità di aggiornare i dati, in modo che esso rappresenti sempre lo stato di conservazione effettivo del manufatto. È possibile così ottenere informazioni circa le analisi storico-critiche dell'edificio, i restauri pregressi con l'evidenziazione di parti ricostruite o reintegrate, le analisi strutturali e la tecnologia costruttiva, il quadro fessurativo associato allo studio delle cause dei dissesti, l'eventuale evoluzione del fenomeno e la gravità delle lesioni e delle deformazioni, le indagini diagnostiche e i saggi conoscitivi eseguiti (tipo di localizzazione, di indagine, scopo, risultato, data dell'esecuzione), il tipo di degrado e le relative cause e gli interventi di restauro pregressi tramite l'indicazione della loro localizzazione, del tipo di intervento, dei materiali usati, della data dell'intervento e dei controlli periodici. Poiché lo scopo è verificarne la validità, si è scelto di non trattare interamente il Ricetto in tutto il suo volume, ma di prendere ad esempio, esportabile ad una scala più allargata, una porzione significativa di un prospetto e su questo creare il metodo di consultazione ed investigazione dello stesso. In particolare si è rivolta l'attenzione alla torre del prospetto meridionale, sul quale si è condotto il rilievo geometrico, la mappatura materica e del suo stato di conservazione.
Il bisogno espresso dagli specialisti del settore di avere uno strumento sintetico di informazioni sta diventando recentemente sempre più urgente anche se, al momento, rimane circoscritto ad alcuni soli aspetti. Dalle ricerche effettuate, il Gis non risulta essere ancora applicato alla scala del singolo manufatto architettonico, se non parzialmente ad alcuni aspetti specifici. Molti ma frammentati sono quindi gli esempi di applicazioni e gli strumenti informatici a disposizione dei progettisti ai fini di una catalogazione, ma poco chiaro risulta essere il modo in cui poterle integrare tra loro.
Gli esempi fino ad oggi divulgati riguardano soltanto alcuni aspetti analizzati in maniera più approfondita rispetto ad altri, ma comunque parziali rispetto al ventaglio conoscitivo indagabile.
Ad esempio il lavoro effettuato presso l'Università di Roma "La Sapienza" da Carla Bartolomucci che, su un edificio preso a modello, nello specifico la facciata di Santa Maria di Collemaggio a l'Aquila, ha proposto una cartella clinica volta proprio alla conservazione programmata. Esso è stato progettato attraverso *MapInfo Professional* e risulta essere il più vicino agli scopi che ci si era prefissati in quanto, considerando il prospetto principale di essa, ha fornito rilievi morfologici, materici e patologici consultabili, su un unico supporto, contemporaneamente. La schedatura proposta permette la possibilità di integrare analisi storico-critiche con analisi tecnico-scientifiche provenienti da indagini diagnostiche sullo stato di conservazione.
Ciò di cui mancava riguardava invece una possibile divulgazione delle ricerca anche attraverso una consultazione in internet. Inoltre, l'aspetto meno significativo nella ricerca, altamente avanzata a livello di metodologia di approccio e di innovazione nella gestione dei dati, risiede nella scelta, poco efficace, di un utilizzo schematico dell'oggetto indagato che risulta poco vicino, a livello di immagine visiva, alla realtà. Questa mancanza, risulta colmabile, ad esempio, attraverso l'utilizzo di un ortofoto come supporto base che, pur mantenendo la caratteristica di misurabilità, permette al tempo stesso una lettura immediata della consistenza materica e morfologica dell'oggetto indagato.
Questi aspetti, legati alla costruzione di un database *ad hoc* del manufatto edilizio e alla relativa pubblicazione dei dati ottenuti in internet, risultano ben sintetizzati all'interno dell'approfondito lavoro di ricerca condotto, come già citato nella precedente sezione, sulla Torre di Pisa e conseguentemente sulla pubblicazione sul web della Piazza dei Miracoli integralmente.

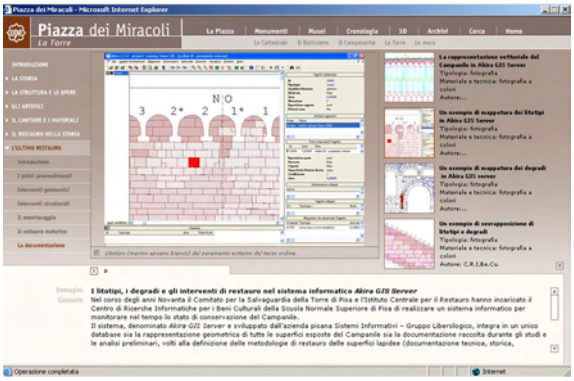


Fig. 33: Esempio di pagina consultabile su internet del sito relativo a Piazza dei Miracoli a Pisa. Lo scopo risulta essere la divulgazione e diffusione delle informazioni raccolte. Quella qui riportata consente di comprendere la logica di strutturazione del programma, collegando ogni informazioni con altre pagine riportanti notizie storiche, archivistiche, immagini di dettaglio e descrizione delle indagini e degli interventi effettuati.

Il database relativo alla Torre di Pisa, denominato "*Progetto Learning Tower GIS – Applicazione nella mappatura dei materiali costitutivi e dello stato di degrado della Torre di Pisa*" è stato progettato avvalendosi del software *Akira GIS Server*, atto a documentare e monitorare nel tempo i complessi monumentali.
Il programma è stato creato partendo da una scomposizione della torre ai fini della rappresentazione geometrica del manufatto, suddividendola a sua volta in ordini a loro volta distinti per elementi tecnologici e patologie. L'importanza oltre ai numerosi dati inseriti e rielaborati risiede nel fatto che tale concetto legato alla programmazione del software scardina la rigida organizzazione legata alle tavole tematiche, correlando dati geometrici ed informazioni alfanumeriche.
In ultimo, nell'ottica di offrire una migliore diffusione a larga scala del metodo applicato, si è pubblicato l'intervento anche attraverso il web. Sul sito è possibile trovare un'ampia varietà di dati ed informazioni per ciascun monumento della piazza, come le indagini storiche e di archivio di ricostruzione della piazza e dei singoli monumenti per epoche storiche, le fasi costruttive, i cantieri di costruzione e i restauri pregressi, i materiali, le indagini e gli ultimi restauri effettuati, come nel caso della torre. Ogni pagina web è ovviamente correlata ad altre ed è ricca di immagini di repertorio, riguardanti i materiali, i documenti e la bibliografia specifica. Da ultimo è interessante, a sintesi della ricostruzione storica effettuata, consultare la rappresentazione tridimensionale della piazza per epoche storiche, che fornisce una visione sintetica delle modificazioni e trasformazioni storiche della Piazza.
Da queste premesse, è chiaro che numerosi sono gli strumenti possibili ai fini della progettazione di un sistema di archiviazione e consultazione dei dati ma che univoca può essere la metodologia alla base del progetto.

Conclusioni

Il limite inevitabile della sperimentazione di uno strumento informatico all'interno di una tesi di dottorato porta con sé tutte quelle difficoltà operative non solo nella progettazione del sistema stesso (sfida alla quale si è scelto di far fronte) ma anche nel reale limite riscontrato nel creare e realizzare una strumento informativo organizzato secondo le modalità precedentemente illustrate, in quanto mette in campo competenze informatiche di progettazione che esulano sia dalla presente ricerca sia dalla personale formazione.
Lo scopo che ci si era prefissati consisteva però non tanto nella dimostrazione tecnica di riuscire ad usare un programma di questo tipo, quanto nella validazione e verifica di un metodo. Esso, seppur in termini embrionali, si ritiene che possa a buon diritto essere applicabile a tutti gli interventi di conservazione alle diverse scale, ovviamente con le dovute differenze a seconda del valore e dell'importanza storico-architettonica del bene. Risulta chiaro infatti l'elevato quantitativo di risorse economiche da impiegare per la realizzazione delle indagini o anche per la realizzazione di un tale strumento informatico. Esse inoltre risultano, di norma, proporzionate all'importanza del manufatto edilizio indagato.
Come noto infatti, anche la programmazione e gestione di un sistema informativo, risulta ormai essere il frutto di un lavoro di stretta collaborazione tra diverse specifiche competenze al fine di ottenere uno strumento programmato *ad hoc* per il problema specifico che ci si pone. L'aspetto sicuramente positivo, ai fini di un suo utilizzo ad ampia scala, consiste nel fatto che, una volta sperimentato, esso possa essere continuamente migliorabile nei suoi aspetti costitutivi e, poiché fondato su un metodo generale, applicabile ad una vasta fascia di manufatti edilizi. Ciò che cambia saranno le singole specifiche, le informazioni, ma se il sistema di consultazione e costruzione risulta valido, esso lo è universalmente.
La possibilità di avvalersi di uno strumento consultabile e riassuntivo delle informazioni raccolte consiste, per Treccani, in un importante punto di avanzamento. È quello che l'autore definisce *ipertesto*, ossia quel "documento costituito da un insieme di elementi informativi integrati (testo, grafica, registrazioni, video, edcc) che dispone di funzioni per una consultazione sequenziale, bensì guidata dal flusso logico del criterio di ricerca"[43].
È chiaro che il suo ruolo debba continuamente essere quello di un sistema di ausilio alla strumentazione tradizionale e non sostitutivo; ponendosi al servizio della complessità insita nel progetto di conservazione. Questo permette quindi la registrazione sistematica di tutte le informazioni che si possono raccogliere, secondo l'ottica che anche le nozioni desunte in un dato tempo che possono apparire trascurabili, un domani potrebbero essere decisive nel contesto di futuri restauri o mutate condizioni.
"Uno dei principali problemi che si incontrano nei cantieri del restauro riguardano neopatologie provocate proprio da interventi sbagliati, poco accorti o, nei casi migliori, ma anche in quelli più diffusi, più semplicemente dovute al fatto che nel frattempo sono intervenute condizioni (d'uso, ambientali, d'interazione tra materiali diversi ecc.) che non si erano previste. Il cosiddetto "restauro del restauro" è una delle condizioni più frequenti, soprattutto negli interventi

eseguiti meno di trent'anni fa con materiali che con una certa dose di spensierato ottimismo si definirono sperimentali. In queste non felici circostanze capire cosa si è fatto in quel precedente restauro e quali materiali si sono usati diviene il problema principale, ma il più delle volte insolubile proprio per la ragione che i restauratori che ci hanno preceduto non hanno ritenuto di lasciare traccia documentaria del loro intervento calcolando che la loro opera fosse eterna"[44].

La possibilità di un utilizzo a larga scala di un database in grado di organizzare e gestire l'archiviazione di informazioni, comporta quindi almeno due ordini differenti di problemi.

In primo luogo tale strumento deve possedere, oltre che un effettivo vantaggio nell'uso, caratteristiche di facilità ed immediatezza di applicabilità per pensare ad una sua larga diffusione; in secondo luogo, di non minore importanza, deve entrare la coscienza da parte dei progettisti, ossia dei soggetti a cui ci si rivolge, di una forma mentis per la redazione di un progetto di conservazione diversa, che cambia in parte la prospettiva.

Risulta chiaro quindi come tale cambiamento all'uso degli strumenti di ausilio per l'intervento, debba avvenire in modo graduale.

"La sfida che ci si propone oggi è delicata. Implica il passaggio, certamente come abbiamo detto non l'abbandono, da un consueto disegno tipografico, cioè rappresentato sulle tavole, ad un progetto regolato sulla narrazione, ad un sistema che recuperando la complessità della comunicazione orale ci consenta di accogliere diversi livelli di lettura, di interpretazione, dia modo di registrare le informazioni a mano a mano che si rintracciano, di assumere anche quegli inevitabili mutamenti dei livelli di apprendimento derivanti dal fatto che si attiva il cantiere e contemporaneamente evidentemente si aprono nuove forme di conoscenza. Dunque il mutamento che si compie è da uno schema concettuale costruito sul raffronto (prima/dopo) a quello di una struttura di narrazione (lo definiremo progetto-programma: composto da testo, immagini, riprese, documenti d'archivio, registrazioni ecc.)"[45]

L'utilizzo di sistemi informativi navigabili, in particolare avvalendosi ad esempio di uno strumento basato sulla logica del Gis e la possibilità quindi di progettare l'intervento, potrebbe rispondere positivamente per un importante problema ancora oggi insoluto. Un uso quotidiano e costante dello strumento, aggiornandolo periodicamente affinché non diventi obsoleto, potrebbe permettere di eliminare il gap temporale tra fase di diagnosi, progetto e inizio cantiere che caratterizza gran parte degli interventi di conservazione.

Accade infatti che, durante la fase diagnostica, si 'fotografi' l'edificio ma, quando si deve intervenire per mettere in pratica le prescrizioni di progetto, si tiene in conto della 'foto' ma non del tempo trascorso e dell'evoluzione della situazione generale e particolare del manufatto.

Se per certi versi questo problema, come intuibile, risulta legato ad una serie di aspetti, spesso anche al di fuori delle logiche vere e proprie d'intervento; quello che invece si può fare, per quanto appartiene alla competenza specifica dei progettisti, risiede nella possibilità di trovare un metodo che permetta di eliminare questo importante distacco temporale tra il momento in cui vengono effettuate le prove e il periodo in cui si apre il cantiere.

Uno strumento, come quello proposto, può potenzialmente porsi, proprio in ragione della logica con la quale è stato pensato, come mezzo di progetto vero e proprio continuamente aggiornabile ed implementabile. Se tale sistema di dati viene correttamente utilizzato, è possibile inserire i risultati ottenuti durante la fase diagnostico-conoscitiva, per poi conseguentemente implementarli mediante verifiche e interazione delle prove stesse prima dell'apertura di cantiere.

Risulta chiaro, infine, come un sistema di archiviazione di dati di questo tipo sia prevalentemente concepito per l'impiego su manufatti di alto pregio architettonico ma sia anche applicabile ad edifici di non particolare importanza, seppur con una minore quantità di dati e informazioni.

L'aspetto della gestione e dei costi di realizzazione di un tale strumento infine, nonostante meriti maggiore attenzione, potrebbe portare in fase iniziale ad un incremento di costi, per poi stabilizzarsi in quanto deve essere solo aggiornato con una certa periodicità. Sicuramente però un tale sistema, nel tempo, va a vantaggio del progetto di intervento e permette di non spendere ulteriori risorse nella effettuazione di indagini.

risulterebbe utile, preliminarmente alla fase diagnostica, creare un programma in grado di fornire una previsione dello stato di conservazione dell'edificio in un lasso di tempo determinato, al fine di intervenire nei casi più urgenti al momento opportuno.

A completamento e supporto di quanto esplicitato, un ulteriore importante utilizzo dello strumento potrebbe consistere nella possibilità di monitorare contestualmente più manufatti edilizi al fine di effettuare previsioni sullo stato di conservazione. In tal caso, il sistema potrebbe essere progettato, attraverso i continui controlli periodici sugli edifici, in modo da allertare gli operatori in tempo utile sugli edifici più sofferenti che presentano stati di conservazione urgenti,

attraverso, ad esempio, una ipotetica curva del rischio basata sui dati desunti dai controlli negli anni precedenti ed ipotizzandone una previsione nel tempo futuro di stato di conservazione e degrado.
Le domande e i dubbi in proposito sono ancora molti in quanto uno strumento di questo tipo non è ancora stato applicato nel campo del progetto di conservazione; per analogia però esistono programmi in grado, attraverso matrici per il controllo dello stato di rischio di effettuare previsioni, ad esempio nel campo del controllo energetico.

Bibliografia

AA. VV., *Current status of flow convergence for clinical application: is it a learning tower of "Pisa"?,* in JACC Vol. 27, No. 2, Febrary 1996, pag. 504-509.
AA. VV., *La Cà Granda di Milano. L'intervento conservativo sul cortile richiniano*, Progetto Monumenti SNAM, 1993.
AA. VV., *La conservazione programmata del patrimonio storico architettonico. Linee guida per il piano di manutenzione e consuntivo scientifico*, Guerini e Associati, Milano 2003 Regione Lombardia, Direzione Generale Culture.
AA. VV., *La nuova scala. Il cantiere, il restauro, l'architettura*, Marsilio Editore 2004.
AA.VV., *Il profilo di competenze del restauratore di Beni Culturali – sintesi del rapporto di ricerca, Regione Lombardia*, IRER (Istituto Regionale di Ricerca della Lombardia), Milano, novembre 2003.
AA. VV., *Il progetto del passato. Memoria, conservazione, restauro, architettura*, a cura di B. Pedretti, Bruno Mondadori Editore, Milano 1997.
AA. VV., *La nuova scala. Il cantiere, il restauro, l'architettura*, Marsilio Editore 2004.
AA. VV.,"*Quarry - Laboratory – Monument" International Congress,* a cura di Gianpaolo Calvi e Ugo Zezza, La Goliardica Pavese, 2000.
C. BARTOLOMUCCI, *Una proposta di 'cartella clinica' per la conservazione programmata*, in Arkos n. 5, Gennaio-Marzo 2004, Nardini Editore, Milano 2004, pag. 59-65.
A. BELLINI a cura di, *Tecniche della conservazione*, Franco Angeli, Milano 1986.
C. BRANDI, *Teoria del restauro*, Piccola Biblioteca Einaudi, Torino 1977.
G. CALVI, *Il ruolo delle indagini non distruttive nella progettazione. Riflessioni su un'esperienza concreta: la caserma Nino Bixio*. in Annali di storia pavese, n.18 - 19, Tipolitografia Popolare, Pavia 1989.
G. CALVI, M. MORANDOTTI, A. GRECO, D. BESANA*, Diagnostica per il progetto di conservazione. Metodi, tecniche ed esempi*, Quaderno 2 della collana Quaderni del Centro Interdipartimentale di Studi e Ricerche per la Conservazione dei Beni Culturali, Università di Pavia, Edizioni ETS, Pisa 2005.
G. CALVI, a cura di, *Progetto qualità edilizia. 1992-2002 ALER Pavia* (Azienda lombarda per l'edilizia residenziale della Provincia di Pavia), Edizioni Edilizia Popolare, Roma, gennaio 2002.
C. CAMPANELLA, *Capitolato Speciale di appalto di opere di conservazione e restauro*, Pirola Editore, Milano 1994.
C. CAMPANELLA, *Il rilievo degli edifici. Tecniche di restituzione grafica per il progetto di intervento*, Il Sole 24 ore, febbraio 2004.
G. CATERINA, *Tecnologia del recupero edilizio*, UTET, Torino, 1989.
C. CESCHI, *Teoria e storia del restauro*, Mario Bulzoni Editore, Roma 1970.
L. CIACCI, a cura di, *La Fenice ricostruita. 1996-2003. Un cantiere in città*, Marsilio Editori, Venezia 2003.
F. CIANFLONE, *L'Applicazione di tecnologie informatiche per riuscire a migliorare lo stato di salute dei nostri beni culturali*, da "Il Giornale dell'Ingegnere", n. 11-15 giugno 2003, pag. 4.
R. CRESPI, *Quattro lezioni di tecnologia dell'architettura*, collana: Ricerche di tecnologia dell'architettura, Franco Angeli, Milano 1990.
M. DEZZI BARDESCHI, C. SORLINI, a cura di, *La conservazione del costruito. I materiali e le tecniche*, Clup, Milano 1981.
M. DEZZI BARDESCHI, *Restauro: punto e da capo. Frammenti per una (impossibile) teoria*, a cura di V. Locatelli, Ex Fabbrica Franco Angeli, Milano 1991.
M. DEZZI BARDESCHI, *Restauro: due punti e da capo*, a cura di L. Gioeni, Franco Angeli, Milano 2004.
C. DI BIASE, a cura di, *Nuova complessità e progetto per la città esistente*, Franco Angeli, Milano 1989.
C. FEIFFER, *Il progetto di conservazione*, Franco Angeli, Milano, 1989.
R. A. GENOVESE, a cura di, *La Torre di Pisa: ritorno al futuro*, Edizioni Scientifiche Italiane, Napoli 2001. Collana Restauro n. 158/2001 - Quaderni di restauro dei monumenti e di urbanistica centri storici.
F. GIOVANETTI, a cura di, *Manuale del Recupero del Comune di Città di Castello*, Edizioni Dei, Tipogra-

fia del Genio Civile, Roma 1992.
F. GIOVANETTI, a cura di, *Manuale del Recupero del Comune di Roma*, Edizioni Dei, Tipografia del Genio Civile, Roma 1997.
R. LEMAIRE, J. BARTHELEMY, F. VENIALE, *Rehabilitation of the "catino" around the foundation of the Pisa Tower*, in E. GALAN, F. ZEZZA, *Protection and Conservation of the Cultural Heritage of the Mediterranean Cities, Proceedings of the 5th International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin*, 5-8 Aprile 2000, A.A. Balkema Publishers, 2002, pag. 491- 497.
P. MARCONI, *Il restauro e l'architetto. Teoria e pratica di due secoli di dibattito*, Saggi Marsilio Editore, Venezia, 1993.
M.T. MAZZILLI SAVINI, *Il Castello di Lardirago del Collegio Ghislieri. Studi e ricerche storico-artistiche premessa al restauro*, Collegio Ghislieri, Pavia 1988.
L. MONACO, A. SANTAMARIA, *Indagini, prove e monitoraggio nel restauro degli edifici storici*, Edizioni Scientifiche Italiane, Napoli 1998.
M. MORANDOTTI, a cura di, *Progettare la complessità: saperi e tecniche a confronto*, Atti del Seminario Internazionale "Historical Buildings' Restoration Project", Edizioni ETS, Pisa 2001.
M. MORANDOTTI, *Recupero: progetto e tecniche costruttive*, Quaderni di storia e tecniche dell'architettura, Marco Baroni Editore, maggio 2001.
L. MARSHALL, *La Scala: un vuoto nel cuore*, da Domus n. 857 marzo 2003, pag. 62-71.
S. F. MUSSO, *Architettura, segni e misura. Repertorio di tecniche analitiche*, Esculapio, Bologna 1995.
R. NEGRI, *Tecnologie digitali per il restauro*, da Modulo n. 287, dicembre 2002/gennaio 2003, pag. 1087.
P.L. NERVI, *Costruire correttamente. Caratteristiche e possibilità delle strutture cementizie armate*, Hoepli Editore, Milano 1965.
S. PAVIA SANTAMARIA, L.I. GONZALEZ PALOMO, S. CARO CALATAYUD, *Pratica de conservation: estudio previo y restauracion. Portada de la Iglesia de San Bartolomé (Logrono),* Logrono, 1997.
RECUPEROECONSERVAZIONE N. 57. *Numero monografico sul Teatro La Fenice*, De Lettera Editore, maggio-giugno 2004.
RECUPEROECONSERVAZIONE N. 61. *Numero monografico Speciale Teatro alla Scala*, De Lettera Editore, gennaio-febbraio 2005.
P. TORSELLO, *La materia del restauro. Tecniche e teorie analitiche*, Saggi Marsilio, Venezia 1988.
P. TORSELLO, *Restauro architettonico. Padri, teorie, immagini*, FrancoAngeli, Milano 1997.

---

[1] E. Benvenuto, R. Masiero, Sull'utilità e il danno della conservazione per il progetto, in Aa. Vv., Il progetto del passato. Memoria, conservazione, restauro,architettura, a cura di B. Perdetti, Bruno Mondatori, Milano 1997, pag. 103.
[2] Titolo della tesi: "Progettare la conservazione: il ruolo delle indagini tra conoscenza e intervento", tutor: Prof. Marco Morandotti e Prof. Gianpaolo Calvi.
[3] G. P. Treccani, Ipertesto e progetto di conservazione", in Giornata di Studio Vilminore di Scalve (Bg), Palazzo della Comunità, 26 novembre 1998 (*www.scalve.it*)
[4] S. Battaglia, Il Grande Dizionario della Lingua Italiana, Utet, Torino 2004, voce "Progetto".
[5] E. Mandolesi, Edilizia, vol.1, 1978.
[6] M. Dezzi Bardeschi, Restauro: punto e da capo. Frammenti per una (impossibile) teoria, a cura di V. Locatelli, Ex Fabbrica Franco Angeli, Milano 1991, pag. 130.
[7] S. Boscarino, Sul restauro architettonico. Saggi e note, Ex Fabrica Franco Angeli, Milano 1999, pag. 105.
[8] E. Viollet Le Duc, Dictionnaire raisonné de l'architecture française, Paris 1869, T. VIII, pa. 14.
[9] B. P. Torsello, Restauro architettonico. Padri, teorie, immagini, Franco Angeli, Milano 1997, pag. 129.
[10] B. P. Torsello, Restauro architettonico. Padri, teorie, immagini, Franco Angeli, Milano 1997, pag. 129-130.
[11] B. P. Torsello, La materia del restauro. Tecniche e teorie analitiche, Saggi Marsilio, Venezia 1988, pag. 91.
[12] B. P. Torsello, La materia del restauro. Tecniche e teorie analitiche, Saggi Marsilio, Venezia 1988, pag. 93.
[13] P. Marconi, Il restauro e l'architetto. Teoria e pratica in due secoli di dibattito, Saggi Marsilio, Venezia 1993, pag. 195.
[14] M. Docci, Il rilievo come momento qualificante dell'analisi storica, in G. Spegnesi (a cura di), Esperienze di storia dell'architettura e di restauro, Roma, 1987, pag. 121.
[15] M. Dezzi Bardeschi, Restauro: punto e da capo. Frammenti per una (impossibile) teoria, a cura di Vittorio Locatelli, Ex Fabbrica Franco Angeli, Milano 1991, pag. 175.
[16] P. Marconi, Il restauro e l'architetto. Teoria e pratica di due secoli di dibattito, Saggi Marsilio Editore, Venezia 1993, pag. 52.
[17] C. Feiffer, Il progetto di conservazione, Franco Angeli, Milano 1997, pag. 25.
[18] G. Rocchi, Istituzioni di restauro dei beni architettonici e ambientali. Cause – accertamenti – diagnosi, Hoepli Editore, Milano 1985, pag. 281.
[19] M. Dezzi Bardeschi, Restauro: punto e da capo. Frammenti per una (impossibile) teoria, a cura di Vittorio Loca-

telli, Ex Fabbrica Franco Angeli, Milano 1991, pag. 157.
[20] B. P. Torsello, La materia del restauro. Tecniche e teorie analitiche, Saggi Marsilio, Venezia 1988, pag. 164.
[21] B. P. Torsello, La materia del restauro. Tecniche e teorie analitiche, Saggi Marsilio, Venezia 1988, pag. 163.
[22] B. P. Torsello, La materia del restauro. Tecniche e teorie analitiche, Saggi Marsilio, Venezia 1988, pag. 162.
[23] L. Quaroni, Progettare un edificio. Otto lezioni di architettura, Gangemi Editore, Roma 1995, pag. 22.
[24] S. Poretti, Identità e futuro di un monumento, in M. Casciato, S. Poretti, (a cura di), Il Palazzo della Civiltà Italiana. Architettura e costruzione del Colosseo quadrato, Federico Motta Editore, Milano 2002, pag. 11.
[25] G. Rocchi, Istituzioni di restauro di beni architettonici e ambientali, Hoepli, Milano 1985, pag. 261.
[26] E. Viollet-Le-Duc, Dictionnaire raisonné de l'architecture française, Paris, 1869, T. VIII pa.14.
[27] S. Boscarino, Sul restauro architettonico. Saggi e note, Franco Angeli, Milano 1999, pag. 39.
[28] V. Minosi, Le eredità di Giovanni Urbani, in Arkos n.10, aprile/giugno 2005, Nardini Editore, Milano 2005, pag. 26.
[29] D.P.R. 554/1999 "Regolamento di attuazione della Legge Quadro in materia di Lavori Pubblici 11 febbraio 1994, n. 109 e successive modificazioni", art. 40 commi 1-2 in riferimento al "Piano di manutenzione dell'opera e delle sue parti".
[30] D.P.R. 554/1999, art. 212, titolo XIII dei lavori riguardanti i beni culturali, capo I.
[31] S. Croce, Introduzione generale alle linee guida per i documenti tecnici del Piano di Conservazione in Aa. Vv., La conservazione programmata del patrimonio storico architettonico, Guerini e Associati, Milano 2003, Regione Lombardia, pag. 32.
[32] S. Della Torre, Piano di manutenzione e Consuntivo scientifico nella legislazione sui lavori pubblici, in Aa. Vv., La conservazione programmata del patrimonio storico architettonico, Guerini e Associati, Milano 2003, Regione Lombardia, pag. 29.
[33] M. Dezzi Bardeschi, Restauro: due punti e da capo, a cura di L. Gioeni, Ex Fabbrica Franco Angeli, Milano 2004, pag. 485.
[34] B. P. Torsello, La materia del restauro. Tecniche e teorie analitiche, Saggi Marsilio, Venezia 1988, pag. 195-192.
[35] S. Croce, Introduzione generale alle linee guida per i documenti tecnici del Piano di conservazione, in Aa.Vv., La conservazione programmata del patrimonio storico architettonico, Guerini e Associati, Milano 2003, pag. 36.
[36] M. Dezzi Bardeschi, Restauro: punto e da capo. Frammenti per una (impossibile) teoria, a cura di V. Locatelli, Ex Fabbrica Franco Angeli, Milano 1991, pag. 130.
[37] B. P. Torsello, La materia del restauro. Tecniche e teorie analitiche, Saggi Marsilio, Venezia 1988, pag. 157.
[38] M. Dezzi Bardeschi, Restauro: punto e da capo. Frammenti di una (impossibile) teoria, Franco Angeli, Milano 1994, pag. 331.
[39] G. P. Treccani, Ipertesto e progetto di conservazione", in Giornata di Studio Vilminore di Scalve (Bg), Palazzo della Comunità, 26 novembre 1998 (*www.scalve.it*).
[40] Si fa riferimento alle metodologie di rilievo proposte, come supporto alla progettazione, dal Prof. G. Calvi e tuttora di appartenza del Collegio Ghislieri. Gli ortopiani sono stati effettuati, su incarico del Collegio Ghislieri, dal gruppo di ricerca coordinato dal Prof. R. Galetto, Dipartimento di Ingegneria Edile e del Territorio dell'Università di Pavia, e da quello coordinato del Prof. C. Monti del Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Ambientale, Infrastrutture Viarie, Rilevamento del Politecnico di Milano.
[41] Si fa riferimento alle prove effettuate dal Prof. Di Giulio, Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Pavia, gentilmente concessi dal Prof. Calvi.
[42] L'esecuzione delle prove è stata individualmente condotta utilizzando le attrezzature della Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Pavia, Laboratorio di Scienza e Tecnica per l'Edilizia e la Progettazione (Step), (responsabile: Prof. M. Morandotti).
[43] G. P. Treccani, Ipertesto e progetto di conservazione", in Giornata di Studio Vilminore di Scalve (Bg), Palazzo della Comunità, 26 novembre 1998 (*www.scalve.it*).
[44] G. P. Treccani,op. cit, in Giornata di Studio Vilminore di Scalve (Bg), Palazzo della Comunità, 26 novembre 1998 (*www.scalve.it*).
[45] G. P. Treccani, Ipertesto e progetto di conservazione", in Giornata di Studio Vilminore di Scalve (Bg), Palazzo della Comunità, 26 novembre 1998 (*www.scalve.it*).

INNOVAZIONE TECNOLOGICA ED ARCHITETTURA: CONTRIBUTI ED ESITI PER IL LINGUAGGIO E LA COMPOSIZIONE ARCHITETTONICA

Ioanni Delsante

Università degli Studi di Pavia – Dipartimento di Ingegneria Edile e del Territorio
XVIII Ciclo
Tutor: Prof. Angelo Bugatti

Il dibattito su "tecnica" e "tecnologia" attraversa la cultura e la storia del pensiero occidentale fino alle sue origini.
Se, da un lato, la filosofia si è occupata da sempre di rintracciarne l'"essenza", l'architettura contemporanea, trovandosi ad inseguire un "cambiamento che sembra precederla" ha spesso utilizzato gli strumenti delle "innovazioni tecnologiche", oppure vi ha consapevolmente rinunciato, volgendosi verso la "tradizione" delle tecniche e delle tecnologie costruttive.
Il dibattito più recente, trasversalmente alle diverse discipline, tenta di superare la dicotomia degli atteggiamenti nei confronti della tecnica e della tecnologia, metaforicamente riconducibile alla divisione tra "apocalittici" e "integrati": cioè tra una visione pessimistica che non intravede possibilità di limitare la "volontà di potenza" che la tecnica manifesta rispetto all'uomo ed alla "natura" ed i sostenitori di una tecnologia vista come strumento in grado di assecondare le esigenze dell'uomo, che è in grado di indirizzarla.
A partire dalle basi culturali ed etimologico-lessicali dei concetti di "tecnica" e di "tecnologia", nonché di "innovazione tecnologica", la tesi si volge all'architettura, rintracciando declinazioni ed atteggiamenti anche contemporanei, con particolare riferimento agli esiti in termini di linguaggio e di composizione architettonica.
L'approfondimento svolto, anche oltre i confini disciplinari, in particolare nella prima parte della trattazione, mira a comprendere le ragioni di fondo del complesso ed in certi casi contraddittorio quadro dell'innovazione tecnologica in architettura.
La ricostruzione di un quadro di riferimento teorico e progettuale, inoltre, ha rappresentato un primo passo verso l'individuazione di categorie interpretative e di nuovi paradigmi progettuali capaci di arricchire lo statuto disciplinare.

Τέχνη e Tecnica

La tecnica è qui riferita alla storia del pensiero occidentale, a partire dalla cultura ellenica. Si tralascia l'idea di tecnica nelle culture antecedenti a quella greca, perché espressa in una forma più debole: se infatti nella cultura greca la tecnica è la causa che conduce il non ente (ossia il niente) a divenir ente, nella tecnica pregreca non esiste ancora la forma ontologica del divenir altro, capace di colmare la distanza tra il nulla e l'essere (Severino, 2003).
La τέχνη è per la cultura ellenica l'arte, il mestiere, il modo di essere, ma anche l'abilità, l'astuzia, l'accorgimento, il metodo, utili al compimento dell'attività tecnica.
La τέχνη, in Aristotele, è una disposizione che ha per oggetto la creazione artistica (e non l'azione) accompagnata dalla ragione. La τέχνη riguarda l'abilità pratica e la teoria, la possibilità di produrre le cose, che possono essere o non essere. Il principio delle cose è in chi le crea, e non nelle cose stesse: la τέχνη non riguarda le cose che sono già o che si producono necessariamente, proprio perché queste hanno già il principio dell'essere in se stesse.
L'architettura è secondo Aristotele una τέχνη, proprio perché è una disposizione creativa accompagnata dalla ragione: "Ogni arte (τέχνη) riguarda la produzione, e il cercare con l'abilità e la teoria come possa prodursi qualcuna delle cose che possono sia esserci sia non esserci […]. L'arte è dunque, come s'è detto, una disposizione creativa accompagnata da ragione vera (la mancanza di arte al contrario è una disposizione produttiva accompagnata da ragione erronea) intorno a quelle cose che possono essere diversamente da quelle che sono". (Aristotele, VI 1140a, 1965)
Per Heidegger la τέχνη dei greci rappresenta il "disvelamento che produce la verità", ma anche la "produzione del vero nel bello" (Heidegger, 1969). In Grecia, così, le arti raggiunsero il loro massimo disvelamento dell'essere, perché non erano fruite esteticamente, non essendo un settore della produzione culturale.
Dopo la frattura tra arti liberali ed arti meccaniche ed il disinteresse della cultura medioevale per queste ultime, con la "rivoluzione scientifica" si opera un cambiamento radicale, attraverso il metodo, e si giunge alla previsione teorica

del comportamento fisico e meccanico dei materiali, all'enunciazione in termini matematici delle leggi della "natura": la natura non indica ormai più la realtà in quanto tale, ma quella realtà, percepibile attraverso l'esperienza, che è la realtà diveniente.
Infatti "È accaduto che per duemila anni le scienze restassero ferme e si mantenessero sempre quasi nelle stesse condizioni senza realizzare alcun progresso degno di nota; anzi fiorissero al massimo con il loro primo autore e in seguito declinassero.
Invece nelle arti meccaniche, che sono fondate sulla natura e sulla luce della esperienza, vediamo accelerare il contrario: esse … come pervase da uno spirito vitale, di continuo vegetano e progrediscono: dapprima rozze, poi convenienti, infine raffinate, sempre progredenti" (Bacon, 1965).
Avviene quindi un cambiamento, non solo riferibile ad un metodo di astrazione della realtà, ma rispetto all'atteggiamento dell'uomo verso la natura, verso il mondo esterno a lui.
Peraltro nella visione cartesiana dell'uomo come "maitre et possesseur de la nature" è già insito il significato di dominio dell'uomo, senza una "resistenza esteriore assoluta", al quale la natura non si può ribellare, ovvero "imporre in ultima analisi un atteggiamento di rinuncia" (Gehlen, 1984).
Appare lecito quindi scandire il passaggio da una tecnica "pre-moderna" ad una tecnica "moderna" proprio in occasione della rivoluzione scientifica.
Con queste premesse si prefigura cioè per la tecnica una nuova valenza semantica, a fronte di un divario più ampio tra atti mentali ed atti tecnici, in cui viene svuotata la "pregnanza originaria del termine tèchne" (Nardi, 2001).
La tecnica è "l'insieme di attività pratiche basate su norme acquisite empiricamente, o tramandate dalle tradizione, o sull'applicazione di conoscenze scientifiche" (Treccani, 1992), proprie di una situazione sociale e produttiva. In seguito alla rivoluzione scientifica, si configura come un patrimonio di conoscenze soggette ad aggiornamenti ed innovazioni, implementata da un addestramento specifico nel quale la formazione scientifica e matematica assume un ruolo centrale.
In architettura la tecnica rappresenta "l'impiego di strumenti e di procedimenti adatti alla migliore e più agevole esecuzione di un'opera" (DEAU, 1968), e si occupa del rapporto tra progetto e realizzazione.

Tecnica mediata e tecnica immediata

Un tratto comune alle diverse produzioni scientifiche contemporanee sull'argomento è la volontà di indagare a fondo la tecnica ed una serie di problematiche ad essa connesse, quali la cosiddetta "questione della tecnica".
Gli esiti di tali contributi si collocano in un panorama tutt'altro che omogeneo e sono da valutare singolarmente perché mostrano approcci e metodologie di ricerca differenti a seconda dei specifici campi nei quali sono state sviluppate le ricerche.
È possibile innanzitutto rintracciare diverse modalità di approccio al concetto di tecnica, ovvero diversi approcci nel "pensare la tecnica".
Langenegger (1990) ha per primo delineato la distinzione tra "tecnica mediata" e "tecnica immediata", e la prima "vive la tecnica come discorso" mentre la seconda "come realtà nel contesto quotidiano della produzione e dell'uso" (Maldonado, 2005). In modo diverso, ma con significato assimilabile, si è constatato il distacco tra la "tecnica reale" e la "riflessione sulla tecnica" (Nacci, 2000).
Questi modi differenti di affrontare la tecnica sembrano non trovare una riconciliazione di significati, anzi si pongono vicendevolmente a distanze sempre maggiori tra loro: mentre la "tecnica mediata", come speculazione spesso autoreferenziale, perde progressivamente contatto con la realtà, ed in particolare con la realtà della "tecnica immediata", quest'ultima oppone il rifiuto di andare oltre una visione utilitaristica, strumentale, persino di ammettere che la tecnica sia possibile oggetto di riflessione.
Occorre cioè saper cogliere dal dibattito sulla "tecnica mediata" quelle indicazioni utili ad operare con la "tecnica immediata". L'impostazione filosofica è, in certi casi, di non facile (o diretta) applicazione all'architettura, necessita uno sforzo di inquadramento storico e concettuale, volto a chiarire i diversi significati e i riferimenti che non sono stati esplicitati.
Nella molteplicità dei contributi e degli studi presenti, difficili da rendere omogenei rispetto alle diverse discipline, appare però necessario superare ogni atteggiamento ideologico e valutare, consapevolmente, vantaggi e rischi connessi all'utilizzo della tecnica (e, come illustrato oltre, della tecnologia) in architettura.

Tecnologia

La pratica corrente usa spesso in maniera indifferenziata i termini "tecnica" e "tecnologia", le quali talvolta non trovano più una loro differente specificazione nelle diverse lingue.
Infatti, secondo Nardi (2001), "la definizione "tecnologia dell'architettura" non trova riscontri letterali nelle altre lingue europee, dove il termine tecnologia è piuttosto affiancato ai termini costruzione, edilizia, edificio (Building, Batiment, Bauwerk) mentre più rari sono i collegamenti tra i significati di tecnologia e architettura", come si può evincere dalla consultazione di

dizionari ed enciclopedie di lingua anglosassone.
Nonostante questa circostanza la differenza può essere però ancora riferita al "metodo", cioè mentre la tecnica è una componente necessaria della scienza e indivisibile dalla teoria, la tecnologia usa la scienza, ovvero il dato scientifico, per fini pratici, divenendo il nesso tra scienza e tecnica.
Questo assunto rimane calido nonostante alcuni recenti contributi critici (Galimberti, 1999) avanzano delle perplessità di fronte allo schema dicotomico scienza-tecnica, sostenendo che il limite e la differenza tra le due discipline sia sempre più labile: arrivano così a coniare il termine "tecnoscienza" proprio ad indicare la stretta interrelazione tra di tecnologia e scienza.
La tecnologia, quindi, declinabile rispetto a diverse discipline, "ha come oggetto l'applicazione e l'uso degli strumenti tecnici in senso lato", applicato alla soluzione di problemi pratici. "Impropriamente utilizzato come sinonimo di tecnica", si riferisce piuttosto all'utilizzazione ottimale dell'insieme di tecniche, procedimenti, conoscenze avanzate. Da sottolineare come, in antropologia culturale, il termine si riferisca "all'insieme della attività materiali sviluppate per valorizzare l' "ambiente" ai fini dell'insediamento e del sostentamento" (Treccani, 1992).
Con riferimento all'architettura, la tecnologia è intesa come metodo applicativo, fondato sull'utilizzo di determinati materiali, le cui caratteristiche sono relazionate ad esigenze particolari. La grammatica architettonica fa riferimento ad operazioni compositive che presumono l'uso di elementi tecnologici per assolvere la funzione tecnica del costruire (DEAU, 1968)
Con riferimento all'ingegneria e alle forme di produzione, se la forma di "tecnologia" introdotta nella attività produttive, in modo sistematico, a partire dalla seconda metà del Settecento con la nascita dell'industria, riguardava la combinazione di abilità artigiana con una conoscenza organizzata, sistematica e diretta ad un fine preciso, la "tecnologia" progressivamente passa dalle modalità di esecuzione di specifiche operazioni (telaio Jaquart) a quelle di attività formate da sequenze di operazioni elementari, fino alla gestione delle operazioni di sistemi complessi, nelle quali gli aspetti gestionali (e le relative tecnologie) divengono sempre più importanti.
Con il passaggio dall'utensile alla macchina, sostanzialmente, inizia quel progressivo passaggio dalla tecnica alla tecnologia, che ha portato quest'ultima ha ricoprire un ruolo sempre più importante con il passare del tempo, fino ad assumere un ruolo preponderante rispetto alla tecnica, con l'avvento delle tecnologie informatiche.
Nella seconda metà del Novecento, ad esempio, si verifica una profonda trasformazione nelle tecnologie (di produzione), in conseguenze dell'introduzione delle "tecnologie informatiche", dapprima con l'introduzione nei cicli di produzione delle macchine a controllo numerico, poi con i microprocessori, le macchine a controllo automatico, infine con le tecnologie di Computer Aided Process Planning (CAAD).
In conclusione, nonostante l'uso indifferenziato dei termini e la difficoltà di rintracciare significati affini nelle diverse lingue europee, si sostiene la necessità di mantenere distinti i termini di tecnica e tecnologia secondo le definizioni enunciate, nella convinzione di sostenere un approccio fondato non solo etimologicamente, ma anche rispetto alla pratica ed al dibattito disciplinare sull'architettura.
La crescente specializzazione dei processi di trasformazione della materia e l'estensione dei metodi operativi nel campo del pensiero ha portato poi a definire la tecnologia come "lo studio delle scienze applicate ai problemi di trasformazione nel campo della materia e in quello del pensiero" (Ciribini, 1984).
Per operare in modo efficace, però, è necessario identificare delle componenti nella tecnologia, le loro interazioni, "il loro operato simbiotico complessivo all'interno dei sistemi umani. Non basta più parlare di applicazioni della scienza o dell'intero corpo di metodi e materiali". (Zeleny, 1990).
Da ciò deriva il concetto di "componenti" delle diverse tecnologie, che, seppur insito nella definizione generale di tecnologia, è stato ripreso ed argomentato fino ad individuare due tecnologie distinte: la "tecnologia hard" e la "tecnologia soft".
La tecnologia "hard" si occupa dunque dei processi di trasformazione operanti nel campo della materia. Si riferisce in particolare alle conoscenze necessarie per procedere da uno stato all'altro di un determinato processo, indipendentemente dai concetti di "materia prima" e di "prodotto finale",
Le tecnologia "soft" riguarda invece quelle trasformazioni agenti nel campo del pensiero, legate alle tecnologie informazionali e comunicazionali. Non si riferisce alla tecnologia degli elaboratori e dei mezzi di comunicazione, o alla strumentazione materiale, ma alla tecnologia dei processi informativi, nella loro astrazione, e comunque relativi al campo del pensiero.
Le tecnologie stesse sono state e sono tutt'ora giudicate, non solo attraverso la *communis opinio*, come fautrici del miglioramento delle condizioni di vita dell'uomo o alternativamente come causa dei suoi mali.
Ciò che interessa maggiormente questo scritto,

nel momento in cui si vuole procedere a chiarire tali argomentazioni, è il rapporto tra uomo ed innovazione tecnologica mediato attraverso l'architettura.

Innovazione tecnologica

L'architettura contemporanea si trova nella condizione di rincorrere una innovazione tecnologica che sembra precederla: le tecnologie dell'architettura avanzano inoltre con ritmi rallentati, disomogenei, mantenendo lo spazio costruito in bilico tra innovazione e modalità realizzative tradizionali (Nardi, 2001).
Tale condizione dell'architettura, con riflessi sull'attività e sul ruolo dell'architetto, è dovuta a molteplici ragioni tra cui il fatto che le tecnologie dell'architettura "costituiscono l'espressione materiale di molteplici concause", che procedono in parziale autonomia ed in modo poco lineare, ma anche che consistono nell'impiego di materiali, tecniche e sistemi tecnologici condizionati dalle condizioni socioculturali, geografiche, e da altri fattori di incertezza di varia natura.
Rimanere al passo con tali rapidi mutamenti è una sfida alla quale il dibattito disciplinare non ha ancora dato risposte omogenee, opponendo atteggiamenti di adesione incondizionata verso le innovazioni tecnologiche ad altri di ferma opposizione. Rimane il fatto che le tecnologie, riferita all'architettura hanno le potenzialità per condizionare l'intero processo di concezione, progettazione e costruzione dell'architettura, (Nardi, 2001).
D'altra parte, un atteggiamento di parziale distacco dal procedere incessante delle tecnologie, corre il rischio (Banham, 1970), di far rimanere l'architetto definitivamente "arretrato" rispetto ad una "innovazione" tecnologica che procederebbe anche senza di lui: sempre che, e questa possibilità Banham non la prende in considerazione, questa scelta di "arretratezza" non sia pienamente consapevole.
In ogni caso, numerosi contributi critici delineano come, per le tecnologie per l'architettura, occorre giungere ad una visione che ricomprenda un "corpo di conoscenze più vasto di quello delle tecniche costruttive e una nuova valenza culturale riferita agli interventi sull'ambiente costruito" (Nardi, 2001).
Per specificare il concetto di "innovazione tecnologica" in architettura si può far riferimento ancora a Banham, che nel 1960 definì l'architettura come una attività in grado di fornire "ambienti adatti" all'uomo, specificando come con il termine "adatto" non si intenda necessariamente la costruzione di un edificio.
Vittoria viceversa descrisse viceversa la "ricerca di uno spazio abitabile" come esito di una possibilità tecnologica che, attraverso la modellazione in modo nuovo delle cose (l'innovazione), permettesse il "relazionamento" degli uomini al loro "ambiente" (Vittoria, 1973).
Si pone in questo caso l'enfasi sul ruolo dell'uomo che assume il ruolo di protagonista del suo cambiamento, nel senso che dapprima si occupa di modellare le cose, in modo pur innovativo, ed in seguito ricerca un nuovo spazio abitabile, mediante l'istituzione di un rapporto nuovo con l'ambiente.
Emerge tuttavia una considerazione: il concetto di "modellare le cose", oltre che la capacità di "ricercare" uno spazio abitabile e di "instaurare" un rapporto nuovo, sembra confermare l'atteggiamento del dominio dell'uomo sulla natura che alcune posizioni filosofiche tendono oggi a mettere in discussione.
Appare così necessario approfondire il concetto di ambiente nelle sue diverse accezioni (fisiche, biologiche, storiche, culturali) come complesso degli elementi biotici e abiotici che contribuiscono alla sopravvivenza dell'uomo (fra uomo e ambiente si stabilisce cioè un rapporto così stretto da non essere possibile isolare gli organismi dall'ambiente) (Roger, 2002).
Alla luce di questa definizione l'ambiente non può essere considerato, per l'uomo, solo quello "naturale", ma deve comprendere anche quello "costruito": l'ambiente è la somma di quello naturale e di quello costruito, che "formano nel loro insieme una seconda natura con i suoi equilibri e i suoi squilibri" (Portoghesi, 2005)
Rispetto a questa seconda forma di natura occorre sviluppare una specifica forma di "ecologia": quella degli "equilibri ambientali artificiali". Il complesso delle ricerche, insieme alla ridefinizione di alcune discipline, dovrebbe così portare ad una nuova scienza degli insediamenti umani, capace di dare una risposta "globale al grande problema della sopravvivenza".
Allora occorre sostituire al concetto di "relazionamento", se riferito al rapporto tra uomo e ambiente quello di "ambientamento", come relazione ottimale di una parte con il tutto, dell'uomo nell'ambiente in cui vive.
Ma l' "innovazione" tecnologica in architettura, è quindi il "miglioramento del rapporto tra architettura ed ambiente" (Bugatti, 2003): questo "miglioramento" va però specificato rispetto al significato ed alle relazioni reciproche che si instaurano tra uomo, architettura ed ambiente.
Occorre innanzitutto chiarire se il "miglioramento" sia riferibile alle condizioni dell'architettura, o dell'ambiente, o di entrambi, in che rapporto siano con l'uomo, ed in che termini esprimerlo.
Appare necessario tenere in considerazione che il rapporto tra uomo e ambiente espresso attraverso la tecnica e la tecnologia si pone, in senso heideggeriano, come opposizione tra soggetto ed oggetto: un "miglioramento" appare

possibile nel superamento del senso di dominio che l'uomo ha instaurato con "la natura, le cose, il mondo".
Con riferimento alla concezione sistemica dell'ambiente come complesso delle componenti biotiche ed abiotiche, che comprende l'uomo e l'architettura, il miglioramento può avvenire, in termini più concreti, attraverso la riduzione dello scollamento delle componenti del sistema "uomo nell'ambiente", ovvero attraverso la considerazione dell'uomo come parte di un sistema, nel quale si deve inserire senza arrecare danno alle altre componenti il sistema.
Quindi, per concludere, tenendo in considerazione la definizione di tecnologia come "l'insieme delle attività materiali sviluppate dalle varie culture per valorizzare l'ambiente ai fini dell'insediamento", l'innovazione tecnologica consiste appunto in una innovazione nella valorizzazione dei rapporti reciproci tra uomo, architettura ed ambiente.
Tale valorizzazione, intesa in senso non evolutivo e distaccandosi dall'idea di "progresso", si può esprimere in termini materiali ma rimanda contemporaneamente ad esiti sensoriali e mentali.
L'innovazione della valorizzazione del rapporto tra uomo, architettura ed ambiente, facendo riferimento tanto a valori materiali quanto a quelli immateriali, vuole superare il rischio di una visione strumentale, basata solamente su relazioni descritte in termini fisici o attraverso bilanci energetici, diviene qualitativa e non solo quantitativa, richiama la necessità di un'etica comportamentale ed evoca l'aspirazione verso una maggiore "responsabilità verso il futuro" (Jonas, 1990) che può far riconquistare all'architettura l'identità storica di "disciplina al servizio della società" (Portoghesi, 2005).

Innovazioni tecnologiche ed architettura

Le suggestioni evocate delle avanguardie, tese a valorizzare l'estetica delle macchine, e gli assunti contenuti in diversi "manifesti" dell'architettura (come ad esempio quello di Le Corbusier con "l'architettura come macchina da abitare" del 1923), hanno spinto gli architetti a sperimentare non solo i nuovi materiali e l' "estetica" dei prodotti industriali applicati all'architettura, ma anche l'integrazione e l'esito linguistico di nuovi "sistemi" tecnologici (in particolare quelli impiantistici): gli esiti sono molto distanti tra loro, ma col passare del tempo maturano alcuni atteggiamenti riconoscibili.

LE SPERIMENTAZIONI RADICALI DEGLI ANNI '60

Nel corso del secondo dopoguerra si assiste ad un complesso quadro di riferimento che affianca la crescente "innovazione tecnologica" alla ricerca di benessere, ai viaggi spaziali ed all'esplorazione di nuovi mondi: il comune denominatore di tali esperienze è l'atteggiamento verso l'ambiente.
Le ricerche si concentrano sull'ipotesi di rintracciare una nuova condizione per "abitare" la terra, che renda l'uomo in qualche modo indipendente dalle condizioni ambientali e dal luogo in cui vive, se non addirittura dandogli la possibilità di vivere in modo nomade, potendo allestire la sua "casa" dovunque sulla terra.

Fig. 1: Fuller, Dymaxion House, 1929

Nel 1955 Alison e Peter Smithson elaborano il progetto per una casa del futuro (House for the future), costruita in plastica. Concepita per essere prodotta in serie, composta da serie di grandi elementi non ripetuti, prevedeva che gli ambienti dovessero prendere luce da un patio centrale. L'unica apertura all'esterno era una porta su uno dei lati esterni, consentendo così potenzialmente a più abitazioni di essere assemblate insieme sui tre lati ciechi.

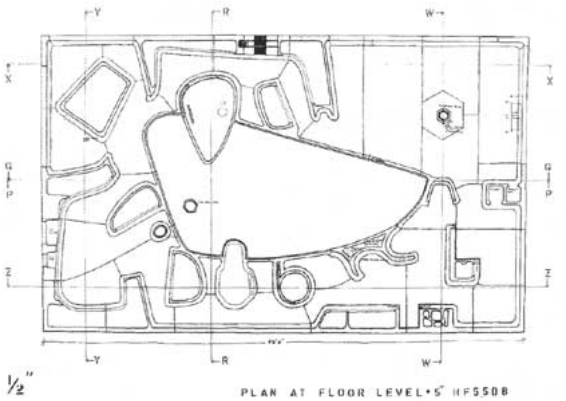


Fig. 2: A. P. Smithson, House for the future, 1955

Questa capacità di aggregazione, che evoca una dimensione urbana, rende differente questa casa dalle altre "macchine per abitare" degli anni precedenti, come la Dymaxion House di

Fuller (1929) o la Maison Plastique di Schein (1927), impossibili da assemblare in unità più ampie.
Ma è a partire dal 1959 che appare per la prima volta un sistema tecnologico di connessione tra diverse unità. Nel progetto di concorso di un giovane architetto belga, Jacques Baudon, a parte l'ambiente centrale adibito a soggiorno, di forma definibile in base alle specifiche esigenze degli abitanti, ogni altra funzione è pensata come una cellula separata, "agganciabile" all'ambiente centrale attraverso la semplice idea di sezioni predefinite nei punti di aggancio.
È così che nasce, in architettura, il termine "a clip" (aggancio) (Banham, 1960), che pone un problema nuovo: l'implementazione di tutti i requisiti tecnologici, come luce, acqua, gas, ecc. Si concepisce così l'architettura in base ai servizi che deve offrire: energia, servizi e sostegno divengono concetti interdipendenti che devono trovare soluzioni specifiche.

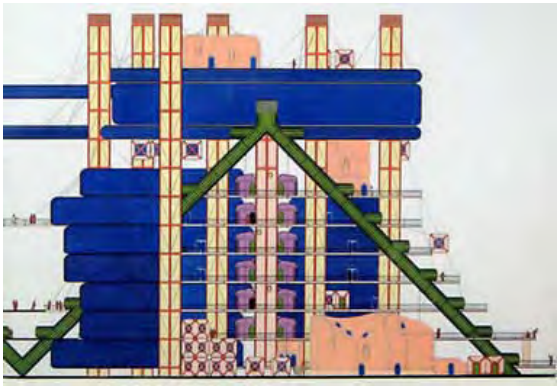


Fig. 3: Archigram, Plug-in City, 1964

Viene messa in pratica l'idea di infrastrutturazione tecnologica dell'architettura, manifestando gli elementi tecnologici che diventano veri e propri elementi espressivi e parte del repertorio linguistico.
Così, per ritornare ad un immaginario scenario urbano, il medesimo significato è alla base della Plug-in City di Peter Cook in cui i diversi moduli sono mobili, smontabili e ricomponibili, grazie alla possibilità di "attaccarsi" in rete, all'infrastruttura centrale.
In altro modo, le pulsioni radicali tendono ad un vero e proprio nomadismo: per gli Archigram, è il principio dell'abitare che deve essere rivisto alla luce del progresso tecnologico e delle possibilità di "aumentare la mobilità personale": si fa strada "il rifiuto della permanenza" e si apre la strada verso configurazioni mobili, verso "un mondo in movimento come le prime società nomadi".
Le "macchine da guerra" degli Archigram, con il loro nomadismo meccanico, sono spostabili su gambe a telescopio o scivolanti su cuscino d'aria, e spostano il dibattito verso una concezione in cui l'architettura è sempre più "macchina per abitare", permette all'uomo di estraniarsi dall'ambiente circostante, in virtù di una rinnovata fiducia pressoché incondizionata nelle possibilità tecnologiche.

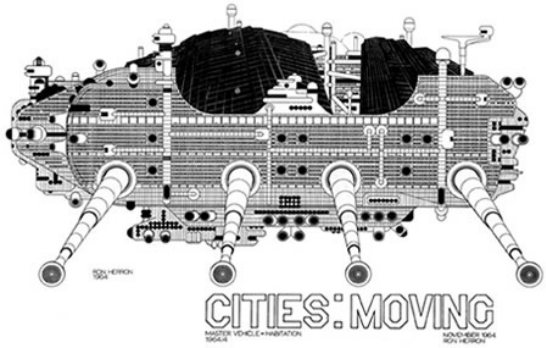


Fig. 4: Archigram, Walking City, 1964

Altre pulsioni radicali, a partire dagli anni sessanta, hanno indagato in modo nuovo il rapporto tra uomo e nuove tecnologie con sperimentazioni di carattere artistico-progettuale. Nelle sperimentazioni dei gruppi viennesi Haus-Rucker-Co e Coop Himmelb(l)au, ad esempio, gli equipaggiamenti e la forma del corpo divengono metafore mutuate in un secondo tempo nei progetti architettonici: la tecnologia viene intesa come uno strumento onnipresente, che si sostituisce al rapporto diretto dell'uomo con l'ambiente circostante.

Fig. 5: Haus-Rucker-Co, Mind Expander I, 1967

Si fa strada l'idea che l'uomo possa vivere indipendentemente dall'ambiente esterno, in un ambiente completamente artificiale: basta evidentemente una "bolla" per sopravvivere.
Una delle pulsioni principali era dimostrare che tale "utopia" fosse tecnicamente possibile, in analogia evidente a quanto avveniva nella fase di "conquista" dello spazio. Tale riscontro è peraltro molto evidente anche dal punto di vista

linguistico, come traspare dal Livind pod degli Archigram (1964), una vera e propria “macchina” pronta a colonizzare ogni spazio.

Fig. 6: Francois Dallegret, bolla ambientale, 1965

Ma come ha sottolineato Banham, criticando in qualche modo le derive più radicali di queste sperimentazioni così come le banalizzazioni che le hanno seguite, “a house is not a home”: una abitazione non è una casa, evocando la necessità di una relazione sensoriale con l’ambiente circostante.

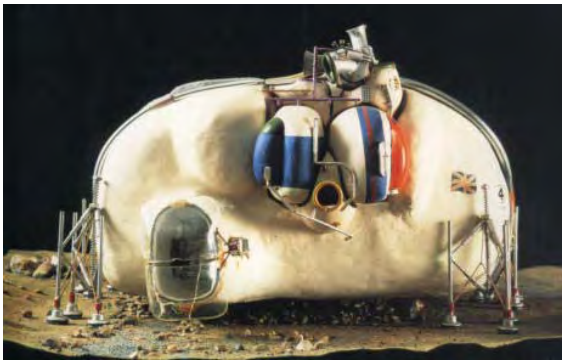


Fig. 7: Archigram, Living Pod, 1964

HIGH TECH

In altro modo negli anni ’70 alcuni progetti, in modo più realistico anche se comunque spesso non realizzati, partono da un rinnovato quadro esigenziale per sperimentare architetture ad alto contenuto tecnologico ovvero “intelligenti”.
Il Beauborg, in questo senso, può essere considerato il primo esempio realizzato dell’espressione di una tensione tecnologica caratteristica attraverso alcuni elementi fondanti il progetto come lo schermo elettronico in facciata ma soprattutto attraverso l’idea dei solai mobili. Il progetto per il Beauborg rappresenta una innovazione perché prefigura la possibilità che gli spazi interni siano dinamici nel tempo, ovvero che i solai e le pareti si spostino all’interno di uno spazio in cui non interferiscono strutture ed impianti, che infatti vengono proiettati all’esterno.

Fig. 8: Piano e Rogers: spazio interno del Beauborg

Nonostante le critiche di Frampton per la sua eccessiva flessibilità, e quelle di Tafuri, che giudica superflua la traduzione in metafore (tecnologiche) degli immaginari (tecnologici) ormai canonici per la società, l’opera appare come la sperimentazione (in termini realizzativi) più interessante degli anni ’70 dello scorso secolo.
Lo stesso Prestinenza Puglisi ne rintraccia il carattere innovativo nella immaterialità, nella sensorialità e nella multimedialità: la sua concezione riguarda la possibilità di pensare l’architettura non più come una scatola muraria ma come “struttura sensibile”, flessibile, e modificabile.
Il complesso di queste sperimentazioni ha fortemente colpito l’immaginario complessivo, nel quale sono in verità rimaste latenti le idee di casa nomade, o di cellula di servizi adattabile. Talvolta, seppur banalizzate rispetto al loro significato originario, sono state adeguate ad una logica di produzione e commercio su larga scala.
Le più recenti tecnologie informatiche, che pervadono il processo progettuale ed il concetto di “ambiente sensibile” hanno però aperto nuove prospettive e campi di indagine: se l’architettura diviene “intelligente”, nel senso di poter recepire alcune informazioni (software) dall’ambiente come dagli utenti che la utilizzano, essa potrà trasformarsi (hardware) in base a tali condizioni.
Non si tratta solo di modificare interattivamente alcuni meccanismi legati all’elettronica, ma i materiali stessi possono variare le proprie caratteristiche fisiche (luminosità, trasparenza, persino la densità, come nel caso dell’Aerogel).

L'architettura può quindi recepire gli stimoli dall'utente come dall'ambiente circostante, trasmetterli e modularli all'interno del proprio spazio, generare delle risposte in termini fisici: in questo modo essa stessa diviene "sensibile", nel senso che non è solo lo spazio percepito a modificarsi, ma addirittura si prefigura la possibilità che lo sia anche quello fisico.
Nel caso dell' "high-tech", il linguaggio diviene metafora di innovazione, cioè vuole rappresentare l'edificio nella sua espressività tecnica, senza che questa rappresentazione preluda ad una vera innovazione tecnologica riferibile a chi utilizza l'edificio stesso, o al rapporto con l'ambiente.
Si assiste cioè ad una forma di tecnica "esposta", ad una vera e propria metafora resa attraverso elementi architettonici: lo stesso Beauborg, che pure, come si argomenterà in seguito, rappresenta un approccio innovativo nella concezione di spazialità interna modificabile a seconda delle esigenze dell'uomo, esprime un linguaggio che enfatizza la presenza degli elementi tecnologici. Ma l' "estetica della macchina", resa attraverso il "mostrare" gli impianti tecnologici, pur liberando lo spazio interno dalla loro presenza, e rendendolo pienamente flessibile, non rappresenta una innovazione nel rapporto dell'uomo con l'esterno, né dell'architettura con l'ambiente.

Fig. 9: R.Rogers, sede dei LLoyd's, Londra 1979

IL DECOSTRUTTIVISMO

Battezzato movimento nel 1988, quando al Museum of Modern Art di New York viene inaugurata la mostra "Deconstructivist Architecture" il decostruttivismo inizialmente raccoglie le opere di sette architetti: Daniel Libeskind, Rem Koolhaas, Peter Eisenman, Zaha Hadid, Coop Himmelb(l)au, Bernard Tschumi e Frank O. Gehry. Il Decostruttivismo affonda le sue radici nell'ambito filosofico, ed in particolare nella filosofia post-strutturalista legata al filosofo francese Jacques Derrida.
Anche se l'architettura decostruttivista nasce dalla volontà di uscire dall'impasse involutivo della "memoria storica", nonostante ciò è alla forme della storia che si riporta, traendo infatti la sua base figurativa dall'avanguardia, in particolare dal Costruttivismo russo degli anni '20 e '30, con i suoi "veicoli, aerei, set teatrali, torri, grandi e stridenti astrazioni", che si ispiravano al progresso tecnologico, alla macchina, all'industria.
Ogni autore sembra rielaborare in modo autonomo gli stimoli, decostruendo i volumi, gli spazi, generando architetture non concluse, fluide, senza inizio e senza fine, che trasmettono instabilità: Zaha Hadid, ad esempio, immagina architetture che richiamano il movimento, decostruendo l'assetto planimetrico e le pareti perimetrali, come nella stazione dei pompieri Vitra, assecondando il quadro esigenziale ed evocando la funzione insediata.
In questo quadro di riferimento concettuale, alcuni progetti meglio di altri sembrano interpretare l'innovazione tecnologica della società contemporanea: così i flussi informatici informano il progetto, generando configurazioni più fluide, in cui lo spazio si conforma richiamando la dinamicità e il movimento delle informazioni.
Nel progetto per la Convention Center di Columbus Eisenman evoca un fascio di fibre ottiche che attraversa la città per riscattare non solo il carattere statico ma anche per porre l'architettura in relazione con il fluire delle trasformazioni.

Fig. 10: Eisenman, Greater Columbus Center, 1990

Alla luce delle basi concettuali e di questi riscontri progettuali si può affermare come, an-

che nel decostruttivismo, l'innovazione tecnologica sia un "valore" affermato solo metaforicamente. I flussi informatici, le configurazioni spaziali fluide, aperte, senza inizio e senza fine, evocano una condizione tecnologica innovativa senza apportare significativi miglioramenti nel rapporto tra uomo, architettura e ambiente.

GEOMETRIE COMPLESSE E BIOMORFISMO

Il dibattito contemporaneo appare, allo stesso modo, attraversato da numerosi stimoli progettuali che concepiscono una architettura generata da forme fluide, continue, deformate, che esprimono nella fluidità l'aspirazione ad un continuo movimento ed evocano nuove spazialità racchiuse in una "nuova forma" di materia, plasmabile e deformabile a piacimento.
Talvolta queste architetture fanno riferimento a figure geometriche complesse, non euclidee, le cui superfici rappresentano proprio la continuità spaziale che i progetti aspirano a trasformare in architettura, come il nastro di Moebius e la bottiglia di Klein.
In altri casi, le configurazioni formali sono l'esito di astrazioni concettuali, rese possibili, nel loro esito formale, grazie alle nuove tecnologie informatiche. L'opera di Greg Lynn, ad esempio, si basa sulla gestione, da parte dell'architetto di software informatici che sono in grado di generare dei mutamenti nella forma degli edifici applicando dei "campi di forza", che riproducono delle condizioni esterne.
Lynn utilizza software nati per l'industria degli effetti speciali e dell'animazione per produrre un'architettura dinamica e flessibile che interagisca con l'ambiente.
Egli introduce dei campi di forza, che possono essere la riproduzione delle reali condizioni esterne (movimento delle auto, vento, sole, ecc.), all'interno dell'ambiente simulato.

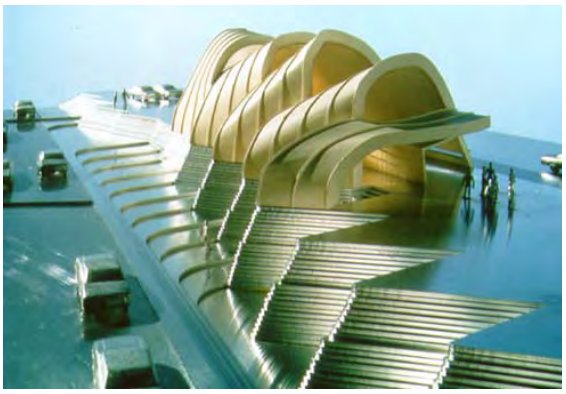


Fig. 11: Lynn, Hydrogen House, 1996

Nel progetto della Hydrogen House, ad esempio, il passaggio di un'auto, nel corso dell'animazione, sposta le superfici facendole slittare le une sulle altre.
Il computer, in questo caso, consente al progettista non solo di rendere in termini formali ciò che ha precedentemente immaginato, ma di attingere la concezione dell'opera architettonica dalle possibilità plastiche e metamorfiche che gli strumenti informatici gli consentono di creare.
Si assiste in questo modo ad una sorta di interazione tra progettista e costruzione, attivata attraverso strumenti informatici, potenzialmente impossibile con gli strumenti tradizionali di progettazione.
Ma il movimento e il divenire della forma, suggerite dalle configurazioni geometriche e dall'utilizzo di strumenti informatici, non si trasmette oltre la fase progettuale.
Il problema è che le forme che risultano da questi processi dinamici risultano statiche una volta realizzato l'edificio: la forma e il suo suggerire un movimento potenziale è sempre appartenuto alla storia dell'architettura, la topologia in questo senso non aggiunge significato né dinamicità. Anzi la giovane "avanguardia" sembra rinunciare al contributo che potrebbe derivare dallo studio dell'architettura barocca fino all'Espressionismo.
Lo stesso Lynn, insieme ad altri autori, basa inoltre la propria poetica espressiva sul riferimento a forme biologiche, in grado di evolvere nel tempo come organismi viventi.

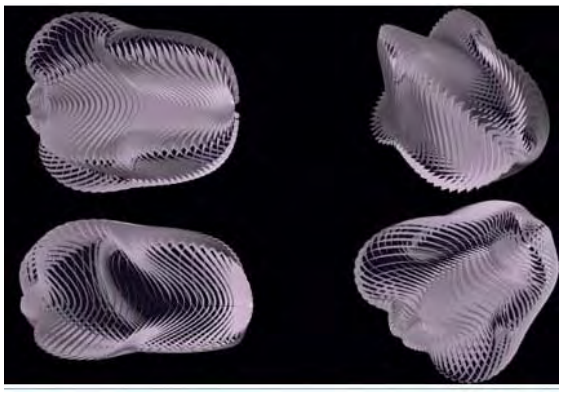


Fig. 12: Lynn, forma embriologica

Ma i tempi dell'innovazione tecnologica e di quella biologica non coincidono (Maldonado, 2005) quantomeno per quanto oggi concerne lo stato attuale della ricerca scientifica. Tale analogia appare quindi debole, ma è perfettamente valida "metaforicamente" parlando: cioè le architetture prefigurate da Lynn, pur rinunciando a tutta la dinamicità programmatica, mantengono idealmente la forza espressiva di una dinamica evolutiva.
Rimane il fatto che queste architetture non possano rappresentare una vera innovazione tec-

nologica. La dinamica delle forme e il riferimento all'evoluzione biologica non sono infatti riferiti né alla valorizzazione del rapporto tra uomo e ambiente, e l'architettura sembra procedere quasi indipendentemente da un possibile quadro esigenziale e indifferentemente a una logica sistemica.
L'idea dell'architettura come organismo, che cresce e si muove autonomamente, fa piuttosto riferimento ai progressi biotecnologici, evocando l'idea di architettura, che da macchina diviene organismo vivente. Sembra, in tutto, seguire quella logica di volontà di potenza della tecnologia che i filosofi, per primi, hanno denunciato, insieme al rischio che la tecnologia stessa divenga il fine, e non il mezzo, dei processi creativi.
Manifesta, più che in altri atteggiamenti, l'idea che la materia ovvero la natura, sia del tutto assoggettabile alla volontà dell'uomo, che non solo plasma le forme materiali (cosa che ha sempre fatto) ma imita quelle biologiche, le rende autonome come se fossero dotate di vita propria. Ma, anche oltre tutto ciò, tali architetture non rappresentano una innovazione tecnologica.

IL MINIMALISMO

In architettura il termine "minimalismo", sulla scorta delle sperimentazioni artistiche degli anni sessanta, è stato utilizzato all'inizio con riferimento principalmente alle collaborazioni tra stilisti di moda e architetti, sollevando nella critica giudizi contrastanti. Se Ibelings sostiene che il minimalismo rappresenti un rovesciamento delle posizioni del postmoderno, con una scelta di semplificazione di fondo verso progetti neutrali, Brandolini afferma invece che la ricerca minimalista corre il rischio di una deriva "neobarocca", verso la riduzione del progetto al trattamento "sofisticato" ma manieristico delle superfici.
Con frequenti influenze miesiane, l'atteggiamento minimalista sembra sostituire il motto "Less is more" con i più realisti "Less is better" e "Less is enough", o tendere verso un "More with less" (Campo Baeza), non ponendosi così obiettivi che trascendano la semplicità e la chiarezza compositive e linguistiche, verso un "grado zero" della scrittura, dalla quale viceversa si presuppone di poter trarre il massimo risultato architettonico.
Appare difficile e forse inutile alla presente tesi ipotizzare una classificazione di autori "minimalisti" che si spinga oltre ad autori molto citati come Nouvel, Perrault, Ito. È più utile descrivere alcuni atteggiamenti comuni ad alcuni progettisti che, almeno in certe opere, consentono di tracciare un profilo interpretativo delle realizzazioni.
Le opere divengono neutrali, indifferenti al contesto, espresse attraverso il controllo formale di volumi semplici, stereometrici, con pochi materiali, di cui vengono enfatizzate le caratteristiche più proprie.
Emerge la ricerca sui materiali, che acquistano valore per le proprie qualità sensoriali, oltre che per la propria struttura fisica: l'atteggiamento minimalista "dichiara" senza pregiudizi l'uso di materiali "tradizionali" o "innovativi", valutando caso per caso la reciproca interazione.
Vi sono poi progettisti che manifestano atteggiamenti ancora diversi, difficilmente riconducibili a quelli sopra enunciati, tra cui Tadao Ando, per l'approccio verso il contesto urbano e l'uso del calcestruzzo a vista; Herzog & De Meuron, per lo sviluppo dell'architettura come immagine e la costante ricerca nell'uso dei materiali; Peter Zumthor, per la coerenza del progetto rispetto all'utilizzo di tecnologie costruttive e materiali (come per le terme di Valls).
Comune a tutti questi atteggiamenti, rispetto al tema dell'innovazione tecnologica, è la massima riduzione dell'evidenza tecnologica della costruzione. Si enfatizza il ruolo del materiale, ma si nasconde la logica costruttiva e tecnologica che lo sottintende.
L'innovazione tecnologica appare quindi come un elemento eccentrico rispetto all'impostazione concettuale delle opere minimaliste. Diversamente da altri linguaggi, però, l'innovazione tecnologica non è espressa metaforicamente, anzi se vi è innovazione l'autore cerca di nasconderla, o meglio, ne cela l'aspetto esteriore.
Questo fa emergere come le opere di alcuni autori innovino l'involucro dell'edificio, attraverso la ricerca sui materiali e sul loro utilizzo, che generano nuove categorie di relazioni tra interno ed esterno: la ricerca fa cioè riferimento all'enfatizzazione delle proprietà intrinseche dei materiali (legno, carta, plastica nelle opere di Shigeru Ban e di altri autori giapponesi) che, insieme a nuove combinazioni di materiali, luce, colori, generano esiti sensoriali inediti nel rapporto tra uomo, architettura ed ambiente.
La constatazione della eccentricità, se non appunto in termini metaforici, dell'innovazione tecnologica rispetto alla maggior parte dei linguaggi architettonici contemporanei, non significa che non esistano altri campi di ricerca che possano dare esiti proficui.
Si deve considerare maggiormente sia il rinnovato quadro esigenziale della società dell'informazione, che sposta l'attenzione dai processi materiali a quelli immateriali, sia la ricerca di soluzione per alcune condizioni di criticità ambientali, fondamentali per il futuro della società contemporanea.

Questa circostanza volge l'attenzione, oltre al campo disciplinare ed in particolare ai linguaggi architettonici, verso studi ed apporti anche extradisciplinari, di cui si vogliono valutare gli esiti rispetto all'architettura.
Se da un lato appare utile proseguire l'analisi e la valutazione di opere che, comunque siano classificabili dal punto di vista linguistico, innovano il rapporto tra interno ed esterno, tra architettura ed ambiente, in altro modo appare utile svolgere anche il percorso inverso: verificare cosa succede quando innovazioni in settori extradisciplinari vengono applicate all'architettura. È da valutare non solo l'esito linguistico di un mero "trasferimento" tecnologico bensì gli effetti su tutto il processo progettuale, derivati dall'introduzione di tecnologie estranee alla disciplina.
Si delineano così diversi percorsi di ricerca rispetto ai quali appare utile valutare gli esiti in architettura dell'innovazione tecnologica: la ricerca legata all'esigenza di sostenibilità ambientale; la ricerca sugli involucri architettonici data dal controllo e dall'innovazione dei materiali, come interfaccia tra esterno ed interno; lo sviluppo e l'integrazione delle nuove tecnologie della società dell'informazione nei processi.

LA SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE

La "sostenibilità" ambientale, intesa come il mantenimento (o la creazione) di condizioni atte a salvaguardare l'esistenza futura dell'uomo senza apportare modifiche agli equilibri ecosistemici, rappresenta la possibilità di una innovazione tecnologica in architettura, proprio per la capacità di migliorare le relazioni tra l'uomo e l'ambiente circostante.
Vi sono numerosi autori e sensibilità progettuali che, affiancando tradizione ed innovazione, uso di materiali rinnovabili ed energie alternative, mostrano una nuova sensibilità verso l'ambiente ed il consumo energetico, sebbene gli esiti in termini progettuali siano distanti e non ci sia stata la nascita di un "movimento consapevole".
Avendo rintracciato un atteggiamento che si può definire come una "attitudine ecologica", attraverso l'uso di materiali ed energie rinnovabili, quali sono gli esiti e i riscontri di questo atteggiamento sul linguaggio architettonico e sulla composizione?
Per valutare queste istanze appare utile considerare l'opera di un ingegnere tedesco, Werner Sobek, che tanto nella pratica realizzativa quanto nelle sperimentazioni progettuali recupera il concetto del valore rinnovabile della natura.
Nella casa R128, progettata per se stesso in Germania, un volume stereometrico con struttura portante in acciaio e facciate in vetro diviene la casa "ad emissioni zero", per un complesso sistema di recupero e riutilizzo di tutta l'energia utilizzata nell'abitazione.

Fig. 13: Werner Sobek, R128, Germania, 2000

Da un lato l'approccio minimalista, insieme all'utilizzo della trasparenza, rende evidente l'interno dell'abitazione e i sistemi tecnologici che l'attraversano; d'altra parte la casa ha un impatto pressoché nullo sull'ambiente, quantomeno in termini energetici e di emissioni inquinanti: la trasparenza diviene metafora di basso impatto sull'ambiente circostante (Dell'Osso, 2003).
Tali concetti sono ripresi ed ampliati nella R129, presentata alla Biennale di Venezia del 2000, che propone un involucro in grado di regolare l'apporto di calore, di energia e di luce in funzione delle esigenze ambientali, attraverso fogli elettrocromatici e pannelli fotovoltaici integrati.
L'involucro, pur trasmettendo l'idea di massima trasparenza, prevede degli strati in grado di controllare l'apporto di luce e calore nell'ambiente interno, oscurandosi anche per parti. L'inserimento di cellule fotovoltaiche all'interno dello stesso involucro, inoltre, permette di ridurre l'insolamento e consente di raggiungere la piena efficienza energetica.
Sobek immagina l'abitazione come una "bolla", in grado di modificare le condizioni fisico tecniche della propria superficie in relazione alle condizioni atmosferiche ed ambientali: all'involucro viene deputato il ruolo di mediazione, e non più di divisione, con l'ambiente. Sulla scorta delle sperimentazioni degli anni Sessanta, gli strumenti attraverso cui generare relazioni con l'intorno appaiono deboli, riferiti solo a concezioni tecnologiche strumentali, senza esiti formali significativi, come già evidenziato in precedenza per altre opere rivolte alla sostenibilità ambientale. L'elemento innovativo, con esiti anche linguistici appare l'idea di una architettura in grado di modificarsi, in relazione alle

condizioni esterne, sfruttando forme di energia passiva. La "macchina per abitare" si pone l'obiettivo di non essere invadente nei processi naturali: per Sobek la trasparenza diviene metafora del favorire, e non solo simulare, i processi ambientali.

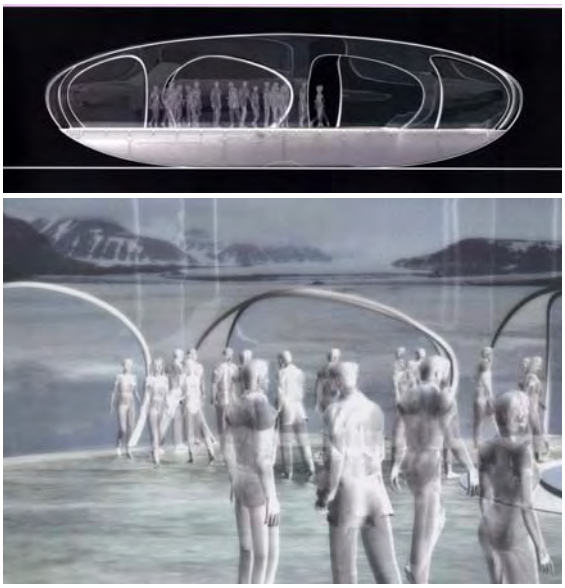


Fig. 14: Werner Sobek, R129, 2002

L'opera di Werner Sobek diviene quindi utile come modello interpretativo di un atteggiamento innovativo dal punto di vista energetico-sostenibile, sebbene gli esiti formali e spaziali siano abbastanza prevedibili.
La ricerca di Sobek, come di altri progettisti, sembra quindi mostrare, accanto ad una sensibilità ecologica, una altrettanto forte neutralità nelle scelte estetiche e formali che denotano la mancanza di un forte substrato ideologico capace di mostrare gli esiti, in termini architettonici, di nuove e fondate relazioni dell'uomo con l'ambiente.
Se si analizzano la maggior parte dei progetti contemporanei che si sono posti l'obiettivo della sostenibilità si constata che l'innovazione tecnologica non è stata ancora capace di generare un cambiamento radicale nell'architettura, ovvero riferibile alle scelte linguistiche e compositive.
In altro modo alcuni progetti futuribili, secondo logiche e modelli adattivi, non mostrano una reale relazione morfologica tra innovazione tecnologica e architettura, se non attraverso riferimenti biomorfici, con il rischio di ridursi a mero atteggiamento formale.
Si può affermare che gli obiettivi che si vengono a porre le ricerche sulla sostenibilità ambientale trascendano il campo linguistico e compositivo: ciò non significa che tali progetti non abbiano qualità formali e linguistiche, ma semplicemente che la sfera tecnologica e quella linguistica rimangano separate. Ciò è evidente da una serie di atteggiamenti contraddittori rispetto agli elementi tecnologici, che vengono alternativamente messi in risalto come parte di sottosistemi tecnologici, integrati negli involucri di facciata, ironicamente giustapposti, resi metafora di processi naturali, mimetizzati negli elementi tradizionali, senza mai assurgere al ruolo di ridefinire il linguaggio e l'architettura stessa.
La sostenibilità consente una valorizzazione delle relazioni tra uomo, architettura e ambiente, ma la riduce spesso ad un fattore strumentale ovvero computabile da un punto di vista energetico, sminuendo in questo modo non solo gli esiti formali riconducibili all'architettura, ma anche le stesse basi concettuali dalle quali prende spunto.
Evidentemente, sottintesa ad alcuni di questi atteggiamenti, vige ancora la consapevolezza di un rapporto di strumentalizzazione dell'uomo sulle risorse ambientali: non è più solo l'ambiente ad essere strumentalizzato, ma l'architettura stessa: come "supporto" per processi di compensazione energetica, senza significativo valore formale.
La ricerca dunque, senza sottovalutare l'importanza di questo specifico campo di indagine, ma ricomprendedolo in un discorso più ampio riferibile ad una "ecologia profonda", ritiene di concentrarsi più specificamente su altri campi di indagine: gli involucri, la ricerca di nuove relazioni sensoriali, le nuove tecnologie informatiche, proprio perché in termini potenziali vi può essere un maggiore esito dell'innovazione esprimibile in termini architettonici.

DINAMICA DELLA FORMA

Una idea latente in architettura fino dalle avanguardie novecentesche è quello di movimento: la mobilità viene alternativamente intesa come movimento delle parti o percezione dinamica dell'architettura (fin dalla promenade architectural). Alle sperimentazioni radicali degli anni Sessanta (in cui l'architettura stessa diviene "nomade") che hanno dato esiti scarsi quantomeno in termini realizzativi, si assiste oggi ad un atteggiamento più critico e consapevole, anche se la dinamicità dello spazio architettonico (o della forma) è una condizione che viene ricercata con sempre maggiore intensità.
Rem Koohlaas, ad esempio, rende dinamica la percezione dello spazio interno della casa a Floirac, attraverso una piattaforma mobile che scorre lungo una parete – libreria su tre livelli, che permette al committente (costretto a muoversi su una sedia a rotelle) di poter variare lo spazio percepito in funzione delle diverse ore del giorno e delle specifiche esigenze, realiz-

zando una “promenade meccanica” che evolve da quella architettonica e lecorbusiana.

Fig. 15: Rem Koohlaas, Casa a Floirac

Altri progettisti, viceversa, in continuità con le sperimentazioni più radicali descritte precedentemente, hanno provato a risolvere specifiche esigenze dell’abitare immaginando che a variare non siano solo le caratteristiche fisico-materiali dell’involucro, ma lo stesso spazio abitabile nei suoi attributi dimensionali: l’edificio non diviene flessibile nella propria articolazione interna ma nella propria configurazione morfologica.
Il progetto dei 24H-Architecture è una estensione di una casa esistente, risalente all’ottocento, sulle rive di un fiume in Svezia. Alcuni vincoli progettuali hanno condizionato fortemente l’approccio al progetto: l’impossibilità di estendere oltre un certo limite la superficie esistente, così come il mantenimento di una distanza di cinque metri dai confini della proprietà, coincidenti con un piccolo corso d’acqua.

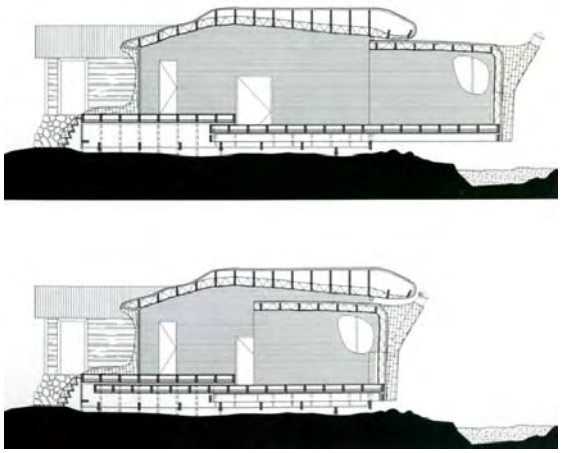


Fig. 16: 24 H Architecture, Sezioni longitudinali

In accordo con queste condizioni il gruppo di progettazione 24H ha progettato una casa estensibile, in funzione delle condizioni climatiche e del numero di occupanti.
Durante l’inverno la casa, chiusa su se stessa, offre una doppia protezione alle temperature invernali, mentre durante la stagione estiva la casa dilata il suo spazio interno, e si protende verso il canale immergendo il soggiorno nella natura circostante.
La struttura e l’utilizzo dei materiali richiamano organicamente il contesto di grande rilevanza paesaggistica e le tradizioni locali in termini costruttivi, reinterpretandole in chiave contemporanea.
L’edificio è in grado di assecondare il quadro esigenziale, variando la propria conformazione per intervalli discreti e predefiniti: rappresenta una innovazione del rapporto tra architettura e ambiente proprio in questa capacità dinamica di relazione.
Nel complesso delle esperienze e delle realizzazioni appare evidente la volontà di rendere “dinamico” il rapporto tra spazio interno ed esterno, non solo in termini percettivi ma anche fisici: queste pulsioni rientrano, evidentemente, in un quadro più ampio di sforzi per valorizzare maggiormente le relazioni tra uomo, architettura ed ambiente.
Se le sperimentazioni sull’involucro e l’utilizzo di specifiche caratteristiche ambientali (materiali, luce), sempre appartenute agli strumenti di cui si è avvalsa l’architettura, possono determinare una innovazione nelle relazioni reciproche tra architettura e ambiente, altri campi di ricerca indagano il rapporto tecnologico tra edificio ed ambiente partendo da configurazioni formali e trasformazioni morfologiche.
Questi progetti indirizzano il dibattito verso una architettura “sensibile”: questa sensibilità si manifesta attraverso gli stimoli che è in grado di recepire, dall’utente (spazio interno) come dall’ambiente (spazio esterno), modificando a sua volta le sue “caratteristiche” in risposta agli stimoli stessi.
Così gli esiti più convincenti delle istanze sopra descritte sembrano essere assecondare le esigenze dell’utente attraverso l’articolazione tipologica ovvero la variazione morfologica dello spazio interno, gestire dinamicamente le risposte alla variazione delle condizioni ambientali esterne.

SPAZI SENSIBILI

Per spazio sensibile si intende un “ambiente sensibile”, che può essere descritto come “spazio di relazione che incorpori un certo grado di intelligenza nell’ambiente; è un ambiente in grado di fornire e di ricevere informazioni di vario tipo e di diverso “formato” (De Luca – Nardini, 2003)
Le potenzialità espresse da uno spazio sensibile vanno riferite non solo alla sfera percettiva ma a tutti i sensi, verso lo sviluppo di una sen-

sorialità inedita, da sperimentare: luci, suoni, colori, temperatura, movimento, proprietà tattili dei materiali sono solo alcuni elementi offerti alla sperimentazione di possibili "nuove sfere" sensoriali. Ciò appartiene ad una concezione che pone il soggetto al centro del processo, e che trascende l'utilizzo meramente strumentale delle diverse componenti l'ambiente fisico.
La materia, in questo modo, diventa una componente essenziale nella definizione dello spazio attraverso le proprie caratteristiche fisiche, che possono variare in risposta agli stimoli ricevuti.
Si prefigura la possibilità, attraverso ricerche sui materiali, di poter instaurare relazioni innovative tra uomo-architettura-ambiente, nella quale l'architettura si caratterizza per la capacità "intrinseca" di adattarsi e trasformarsi.
Il progetto del FreshH20eXPO di Lars Spuybroek, conosciuto anche come "water pavillion" (padiglione d'acqua), è uno spazio sensibile inteso come architettura per estendere le capacità sensoriali del corpo in movimento.
L'idea centrale del progetto è quella di immergere il corpo in un'esperienza sensoriale: l'esperienza della liquidità dell'acqua, ma anche l'esperienza del corpo circondato dalla materia fluida in movimento.
Il principio sul quale i progettisti hanno impostato il progetto è quello della geometria-motoria, nel senso che il padiglione diviene un oggetto-vettore in grado di prendere parte all'azione stessa: la logica che struttura questa idea è quella che attribuisce al corpo una naturale tendenza a incorporare tutto ciò che può estendere il proprio sistema motorio.

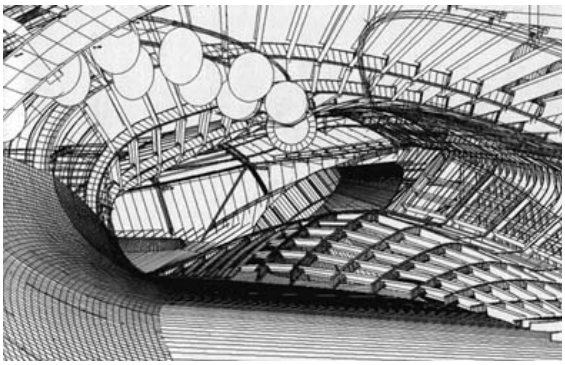


Fig. 17: Nox, Water Pavillion, 1994

Attraverso una geometria in cui è impossibile distinguere le pareti dal suolo, il verticale dall'orizzontale se non grazie ai propri sensi, l'architettura accelera il movimento del corpo, coinvolgendolo in un gioco interattivo con sensori e attuatori.
Per attivare il software che gestisce l'interattività è sufficiente camminare dentro lo spazio, e lo spazio si anima con luci, suoni e colori proiettati anche sul visitatore stesso: l'interattività ha diversi livelli di coinvolgimento, anche in funzione del numero di visitatori.
Si può infatti individuare una forma di interazione locale, che permette di visualizzare le informazioni sulle pareti, ed altre forme di interazione che tengono conto della presenza di più persone e della loro distribuzione.
Il padiglione diviene così un sistema di onde reali e virtuali, sensibili alla presenza umana, nonché dotate di regole proprie in funzione delle condizioni del tempo e del livello dell'acqua all'esterno del padiglione.

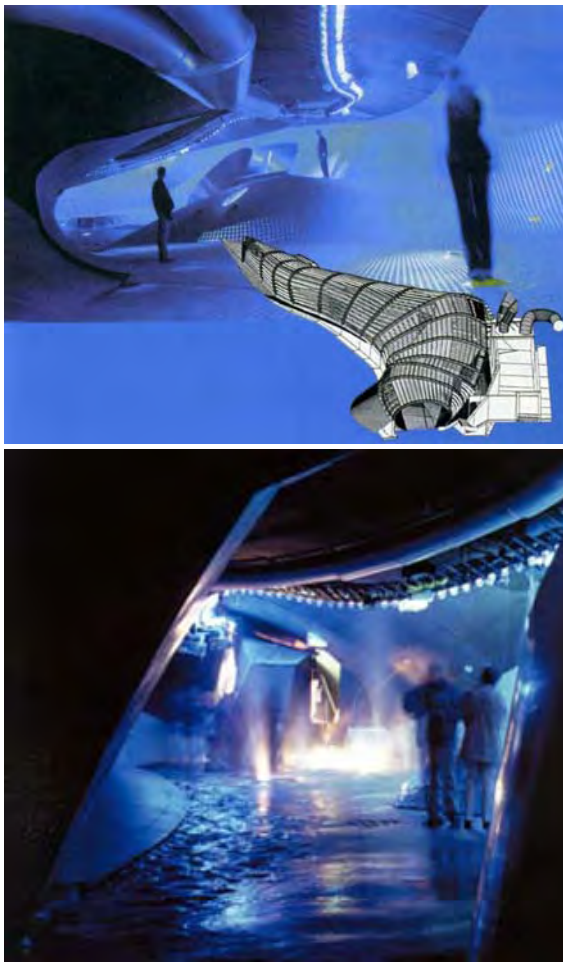


Fig. 18: Nox, Water Pavillion, 1994

Il percorso all'interno del padiglione diviene così la metafora di un viaggio all'interno di una architettura corporea, in cui uomo e ambiente, dialogano attraverso sensorialità inesplorate.
Lo spazio che si crea non è quindi immediatamente percepibile nei termini con i quali si è abituati a pensarlo, ma diviene una entità variabile, con molteplici stimoli sensoriali, soggettiva e policentrica, invece che "oggettiva" e monocentrica.
Un altro progetto rappresentativo dell'idea di spazio sensibili è la Son-O-House: non è una

casa in senso stretto, ma una struttura che accompagna la vita e i movimenti corporei legati all'abitare: è uno spazio "organizzato a livello sensoriale".
La struttura della casa è una struttura sia architettonica che una installazione sonora, che permette ai fruitori non solo di ascoltare suoni si una melodia, ma di partecipare alla composizione del suono: è uno strumento e uno studio nello stesso tempo.

Fig. 19: Nox, Son O House, 2002

La struttura è derivata da una azione riferibile all'action landscape, generata da una attenta coreografia di movimenti del corpo, che hanno generato un complesso sistema di superfici in potenziale connessione tra loro. La connessione di queste superfici curve con il piano del terreno ha concluso il processo compositivo.
È uno spazio delimitato da una struttura composta da travi-pilastri in acciaio su cui è posata una rete metallica stirata, che quindi dà la sensazione di racchiudere uno spazio benché mantenga le relazioni visive con il contesto, un'area industriale a Bruegel, in Olanda.
La struttura contiene ventitre sensori in posizione strategica per partecipare alla composizione musicale, secondo un sistema studiato dall'artista Edwin van der Heide.
Il visitatore non è in grado di influenzare il suono direttamente, come nel caso dell'arte interattiva, ma influisce in tempo reale con la composizione che genera il suono. Il risultato è una "forma mnemonica evolutiva" che si sviluppa attraverso il riconoscimento dei comportamenti dei corpi nello spazio della casa.
L'obiettivo dell'ambiente sonoro è quello di creare una interazione permanente tra il suono, l'architettura e il visitatore. Il suono non è una composizione musicale nel senso tradizionale del termine, perché l'obiettivo è quello di coinvolgere i visitatori a fermarsi, provare, verificare gli effetti dei loro movimenti.
Il suono si trasforma anche in relazione ai dati forniti dai sensori sparsi per l'installazione: non rilevano precisamente la posizione delle persone ma solo in maniera statistica. Le mappe di distribuzione influenzano la velocità di modificazione dei suoni.
Il visitatore, in questo modo, lascia traccia del suo passaggio grazie all'interazione con l'architettura e con il suono. Nella Son-O-House l'ambiente sonoro, nel suo insieme, prova a interagire con l'architettura.
L'interattività che si genera dentro la casa è differente da quella che si instaura usualmente con schermi, ed altre tipologie di interfaccia: si genera a partire dalla diretta interazione delle persone con l'installazione, un ambiente in cui all'architettura si somma la percezione sensoriale dello spazio.
Quest'opera pone le basi per ricerche molto più ampie ed approfondite, che evolvono rispetto al concetto usuale di spazio dell'architettura, verso una soggettività che fonde stimoli materiali ed emotivi.

Fig. 20: Nox, Son O House, 2002

Differenti esperienze mostrano esiti che innovano il rapporto tra uomo, architettura ed ambiente, nel senso che permettono una migliore fruizione e percezione dello spazio attraverso un più profondo coinvolgimento sensoriale. In questo modo il dibattito recupera la fisicità dello spazio architettonico e lo implementa di nuove capacità espressive e nuove valenze sensoriali.
La dimensione tecnologica, in questo senso, pervade l'architettura che mostra la sua componente dinamica nella capacità di interazione sensoriale: l'architettura diviene "intelligente", in grado di recepire stimoli ambientali.
Negli ambienti sensibili non è la forma

dell'edificio a cambiare, né la dimensione e l'articolazione degli spazi interni: è la percezione dello spazio a non essere più oggettivabile, a divenire soggettiva, individuale, personalizzata.

"FORME" DELLA TECNOLOGIA

Il progetto per la realizzazione del New-Media Center di New York, di Diller & Scofidio, prevede la costruzione di un nuovo museo dedicato alle mondo delle nuove tecnologie multimediali. Il centro offrirà spazi espositivi ad artisti che indagano le possibilità espressive dei nuovi media: video art, istallazioni multimediali, produzioni DVD, immagini digitali 3D etc.

Fig. 21: Eybeam, vista esterna

La logica spaziale che ha generato il progetto è basata sull'alternanza tra spazi di produzione e spazi per la presentazione: così un "nastro" avvolge l'edificio su tutta la sua altezza, piegandosi su se stesso, e genera una superficie continua in cui pareti, pavimenti e soffitto assumono un significato relativo, riferibile ormai solamente alla forza di gravità.
Ogni piega rappresenta il passaggio da uno spazio di produzione ad un altro di presentazione: la superficie continua rappresenta, oltre alla struttura architettonica che contiene questi stessi spazi, l'infrastruttura tecnologica che avvolge e serve le esigenze. Gli ambienti, nella loro specificità, implementano attrezzature per la visione, la sperimentazione e la produzione di filmati multi-mediali.
Questa superficie è stata progettata come una doppia pelle, nel senso che la faccia rivolta agli spazi di esibizione è in calcestruzzo, e contiene al suo interno degli alloggiamenti per gli impianti, mentre la pelle rivolta agli spazi di produzione è composta da pannelli modulari che permettono un facile accesso agli spazi interstiziali per manutenzioni ed implementazioni degli impianti.

L'infrastruttura tecnologica diviene in questo progetto la genesi dell'impianto tipologico e compositivo. L'interazione uomo-macchina e l'integrazione dei diversi spazi adibiti alla produzione e all'utilizzo dei prodotti multimediali è il principio guida di ogni azione progettuale.

Fig. 22: Eybeam, modello

In questo caso l'architettura diviene il supporto dell'interfaccia, e la materia metaforicamente accompagna il fluire delle informazioni attraverso l'edificio: alla distinzione tra pavimenti e pareti si sostituisce una superficie continua che di fatto rende gli spazi fruibili, interconnessi, adattabili ed implementabili con nuove tecnologie.

Fig. 23: Eybeam, vista degli spazi interni

Senza spingersi ad indagare le potenzialità

proprie dello spazio virtuale, in questo progetto Diller+Scofidio mostrano un'architettura che si rende flessibile, aggiornabile, implementabile, interconnessa: l'architettura diviene supporto delle tecnologie informatiche, che rappresentano il vero valore di questo edificio.

SPAZI, TRA REALE E VIRTUALE

Rashid e Couture (Asymptote Architects) hanno progettato un ambiente di "realtà" virtuale per la Borsa di New York: hanno dapprima immaginato uno spazio virtuale nel quale ci si potesse "muovere" con regole analoghe a quelle degli spazi fisici.
Nel 1999 il 3DTF diviene operativo. Il modello, realizzato con la tecnologia VRML (Virtual Reality Modeling Language), è di fatto uno spazio navigabile completamente interattivo dalle sembianze della sala delle contrattazioni reale (comprese le postazioni di scambio), nel quale gli operatori possono accedere ad un ampio parco di flussi informativi, dati e modelli di correlazione per seguire ed intervenire direttamente sul mercato delle transazioni.

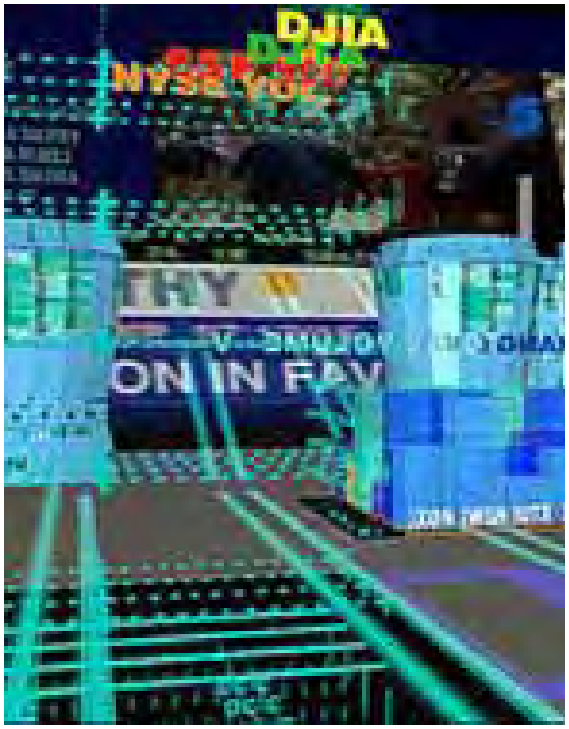


Fig. 24: Asymptote, 3DTF, New York, 1999

La dimensione materiale e dimensionale è semplicemente evocata attraverso la ricostruzione di geometrie note, familiari, come se fosse un videogioco che simula la realtà.
Subito dopo aver concluso la realizzazione virtuale tridimensionale del piano commerciale della Borsa di New York, Rashid e Couture hanno ricevuto l'incarico di costruirne lo spazio fisico.
Quando si è immersi in un ambiente di "realtà" virtuale, secondo Rashid, si produce una fluttuazione tra il senso spaziale e l'interfaccia dimensionale. Così l'oscillazione fra l'osservatore di una superficie di "realtà" virtuale e lo stare con il proprio corpo in uno spazio tridimensionale intensifica la consapevolezza della superficie piatta.

Fig. 25: Asymptote, Borsa di New York, 2002

Gli architetti ipotizzano che questo attenui la percezione dello spazio fisico e che, di conseguenza, lo spazio fisico occupi di fatto una spazialità intermedia fra la piattezza dello schermo e lo spazio pluridimensionale, dove il corpo effettivamente si muove ed è fisicamente coinvolto.
Così il progetto, subito battezzato "la Rampa" perché collocato in un'area di circa 30 metri con un pavimento in leggera pendenza, è caratterizzato innanzitutto da una parete ondulata in vetro azzurro a doppia curvatura nella quale sono inseriti 60 monitor a cristalli liquidi e schermo piatto ad alta risoluzione.
Lo spazio appare come una sorta di immagine video che fluttua al di sopra del piano commerciale della Borsa. Con pochi movimenti spaziali, per esempio quello dei ticker, in funzione sul soffitto, gli utenti possono riposizionare il corpo nello spazio.
La peculiarità del progetto è da subito identificata nelle sue caratteristiche spaziali. Gli Asymptote realizzano cioè dapprima uno spazio

virtuale, poi realizzano una architettura che permetta di accedervi, questa volta reale. I due spazi, riprendendo le considerazioni di De Kerckhove, sono stati pensati con regole affini, così che il passaggio dalla realtà alla virtualità sia mediato proprio attraverso la realtà fisica: schermi, scritte, fasci luminosi creano una soglia che appare metà architettura e metà schermo, che perde la sua bidimensionalità e acquista una nuova dimensione spaziale.

ARCHITETTURA COME INTERFACCIA

Alcune recenti realizzazioni mostrano come le strutture possano reagire ai carichi dinamici: nel caso di eventi sismici le fondazioni di alcuni grattacieli di Tokyo sono in grado di variare la risposta alle forze agenti sull'edificio di modo da salvaguardarne l'integrità.
Alcuni progettisti olandesi hanno ipotizzato di applicare lo stesso principio non solo alle fondazioni dell'edificio, ma a tutto l'involucro, e non solo in caso di evento sismico ma anche come reazione alle forze del vento ed ai carichi orizzontali, ovviamente ipotizzando di avere a che fare con un sistema pneumatico, in grado di reagire, come un "muscolo".
Nonostante gli ingegneri strutturisti abbiano utilizzato questi principi della scienza e della tecnica delle costruzioni per resistere alla deformazione, Oosterhuis ha ipotizzato che potesse variare la deformazione in funzione delle forze interne all'edificio.
Alla base di questa concezione vi è l'idea che gli edifici divengano parte "attiva" nell'interazione con l'uomo e con l'ambiente circostante, attraverso la connessione in tempo reale con un database che permette di generare risposte agli stimoli ricevuti. L'architettura, come sempre, è interfaccia tra uomo ed ambiente, ma sfrutta le proprietà della materia e delle tecnologie informatiche per divenire parte attiva nelle relazioni.
Questa concezione, che non è altro che una visione differente delle proprietà della materia, alla luce delle nozioni scientifiche di cui si è in possesso e del possibile controllo delle condizioni fisico tecniche dei materiali con l'ausilio di tecnologie informatiche, può naturalmente essere utilizzata in differenti modi, e a diversi livelli di interazione con le fasi della progettazione: appare opportuno innanzitutto descrivere le applicazioni ipotizzate dallo stesso Oosterhuis.
Trans ports 2001
In occasione della Biennale di Venezia del 2000 Oosterhuis progetta un'architettura concepita come una membrana dalla forma variabile, a seconda delle esigenze dell'utenza. Oosterhuis ipotizza che questo spazio possa essere utilizzato come spazio espositivo, edificio per i media (espandibile e comprimibile), spazio commerciale temporaneo, spazio per divertimenti.

Fig. 26: Oosterhuis, Trans ports, 2000

Quando la struttura attiva, concepita come un sistema spaziale consistente in un certo numero di pistoni pneumatici a controllo numerico, cambia forma, la superficie esterna e quella interna scorrono lungo uno "scheletro", ovvero una parte fissa in acciaio. Questa struttura è un elemento indipendente dall'involucro esterno e da quello interno, in grado di recepire i dati provenienti da un software programmabile.

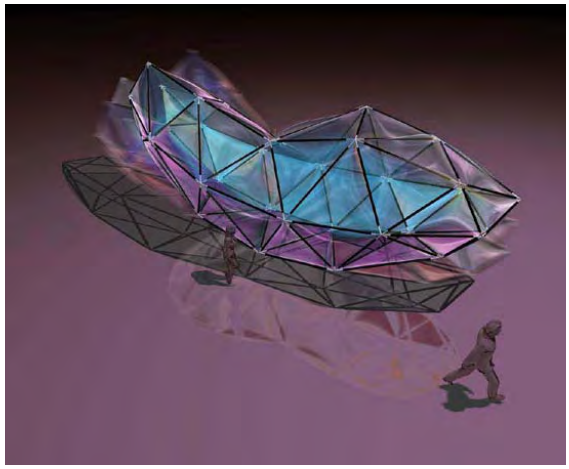


Fig. 27: Oosterhuis, Transport Muscle

Il progetto si basa su una sorta di pelle pneumatico-elastica tridimensionale, flessibile e continua che permette queste deformazioni, di cui esistono alcuni prototipi (Transport Muscle). Anche la superficie interna, dove l'informazione si materializza attraverso migliaia di LED programmabili, è flessibile e capace di seguire i movimenti della struttura.
Quando l'edificio è "attivo", le superfici sono in grado di scorrere lungo il sistema strutturale, quando l'edificio è in stato di "riposo" i suoi movimenti sono impercettibili, ma l'edificio si muove ugualmente, benché i suoi spostamenti siano impercettibili.

Oosterhuis sostiene che l'architetto non può stabilire a-priori l'ampiezza delle deformazioni dell'edificio: non vi è alcuna configurazione specifica ma si conosce solo la massima deformazione possibile, ovvero lo spazio di lavoro.
Il laboratorio diretto da Oosterhuis ha già realizzato diversi prototipi, cercando di implementare in modo progressivo tutte le caratteristiche pensate originariamente per Trans-ports.
Transport Muscle (2003) rappresenta il tentativo di costruire una architettura ovvero un modello più piccolo di Trans-ports 2001, perfettamente analogo dal punto di vista del funzionamento fisico. L'idea è quella di realizzare dei padiglioni programmabili, che si possono riconfigurare autonomamente.

Fig. 28: Oosterhuis, Transport Muscle, prototipo

Il funzionamento di questi prototipi, che sono dei volumi pressurizzati di racchiusi in una tensostruttura elastica (prodotta appositamente dalla Festo), dipende da 72 sensori posti sulla superficie, in grado di modificare la posizione e la pressione esercitata sull'involucro.
In seguito il prototipo chiamato Transport Re-Configured (2004) ha sperimentato l'ipotesi di una struttura più rigida che rispondesse in tempo reale alle sollecitazioni, basata sulla stessa componentistica ma utilizzando come superficie dei pannelli di "Hylite", una lega metallica, per costruire una striscia trasversale della sezione.
Una serie di pistoni idraulici è in grado di modificare la morfologia della membrana metallica, modificando la configurazione iniziale che assomiglia ad una scatola metallica.
In base alle esigenze e agli input degli utenti, si possono generare elementi di arredo, aperture nella superficie per ricevere aria o luce, spazi più compressi o maggiormente dilatati: l'utente è in grado di variare i parametri spaziali nei quali è immerso.
L'idea di poter realizzare un edificio che risponda agli stimoli provenienti dall'interno e dall'esterno, avocando a sé le azioni necessarie per un migliore adattamento dell'architettura all'ambiente, ha imposto un radicale ripensamento di tutto il processo progettuale.

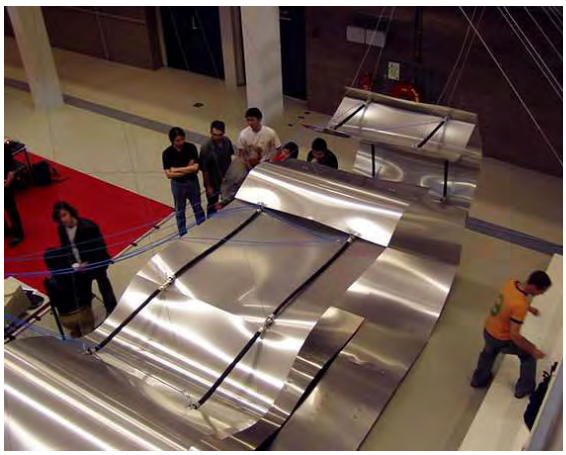


Fig. 29: Oosterhuis, Transport Re-configured

Oosterhuis delinea nuovi paradigmi progettuali che conducono verso una architettura "dinamica" e "interattiva".
Il processo di progettazione cambia fin dalla fase ideativa, con l'introduzione delle tecnologie informatiche, e la fase di esecuzione delle componenti edilizie, attraverso un sistema di produzione di carattere industriale ma automatizzato, viene basato non più sulla standardizzazione ma sulle sue specifiche esigenze dell'utenza, attraverso la personalizzazione degli elementi costruttivi.
Ciò è reso possibile dalle tecnologie informatiche attraverso la gestione dei dati desunti dalla progettazione, che vengono trasmessi direttamente alle attrezzature che forgiano le varie componenti, potendo variare le configurazioni formali in modo automatico, senza costi aggiuntivi.
Oosterhuis ricostruisce il passaggio dalla tradizione costruttiva "tradizionale", in cui il progetto si accompagna al processo di costruzione con un'interfaccia diretta tra gli attori coinvolti, alla costruzione basata su tecniche digitali, in un processo chiamato "mass-customization" (personalizzazione di massa), basato su metodi produttivi che passano direttamente dal file alla macchina (File to Factory) che conforma il materiale.
La diversità tra le diverse configurazioni formali (compatibilmente con le caratteristiche fisiche della materia) non è dovuta alla mancanza di accuratezza nella fabbricazione delle componenti ma ad una precisa volontà espressa nel processo computazionale: per fare ciò il progettista deve però sviluppare tutti i generici dettagli in forma parametrica e provvedere al passaggio

dal progetto digitale alla produzione.
Il passo successivo è quello che consente di progettare un edificio che abbia un "comportamento", cioè reagisca agli stimoli, in tempo reale. Ciò avviene se i singoli elementi costruttivi sono concepiti compatibilmente con le reazioni previste, se l'edificio nel suo complesso è predisposto per ri-configurarsi continuamente e se, appunto, è in grado di recepire e rispondere agli stimoli che riceve.

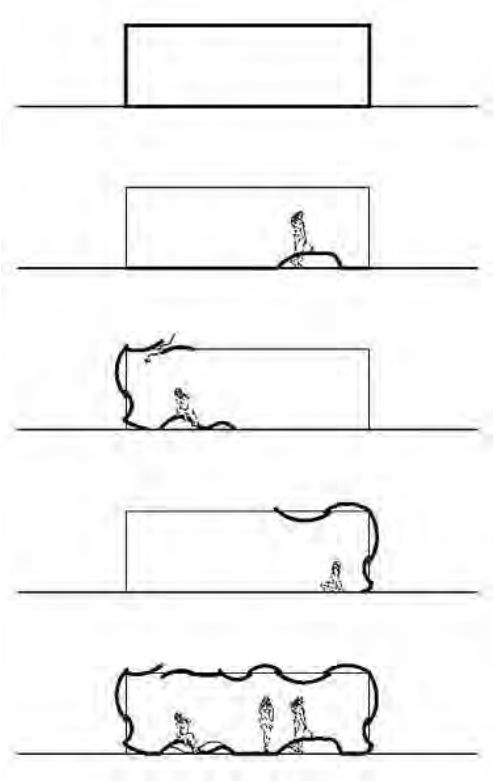


Fig. 30: Oosterhuis, Transport Re-configured

Per realizzare questi obiettivi Oosterhuis utilizza componenti assimilabili a "nodi" di una rete, veri e propri elementi strutturali interconnessi, che ricevono e ritrasmettono i dati in tempo reale e dialogano con un software adatto a simularne il comportamento.
Per Oosterhuis progettare diviene una attività assimilabile alla programmazione, anzi addirittura un "gioco": si utilizzano peraltro software diffusi di programmazione ludica per simulare il comportamento degli edifici.
D'altra parte fin dal 1996 Kas Oosterhuis nel progetto per l'Attractor Game ParkStadt Reitdiep di Rotterdam, uno spazio pubblico, ha concepito un parco urbano partendo da un programma informatico di simulazione in cui, partendo da alcuni dati ricavati dal sito e da alcune variabili (riferibili al contesto, ai percorsi, alle funzioni, ecc) si possono generare differenti configurazioni progettuali.
L'impostazione dell'architettura come un gioco, provocatoria e funzionale nell'esprimere la possibilità che progettare implichi, oltre a tutto il resto, la capacità di "programmare" l'edificio utilizzando quindi strumenti informatici in grado di controllarne gli aspetti dinamici, non deve banalizzare il dibattito, riducendo la "nuova architettura" ad una mera "architettura digitale", che si espone a critiche presenti nel dibattito (De Fusco), e corre il rischio di divenire essa stessa un video-game, cioè un video-"gioco", invece che sfruttarne semplicemente gli strumenti di programmazione per ottenere una innovazione tecnologica in architettura.

Neutralità della tecnica e processi creativi

Un parte del pensiero contemporaneo, come si è in parte già delineato, ha portato a considerare la tecnica come uno strumento, astratto, da utilizzare a piacimento: assoggettabile alla volontà dell'uomo, che è in grado di decidere se farne un uso positivo o negativo.
Questa convinzione pone due questioni distinte anche se interdipendenti: la prima si occupa della presunta "neutralità" della tecnica (rispetto ai processi creativi, produttivi ecc) la seconda vuole comprenderne la vera "essenza", cioè il principio che la regola.
Infatti l'idea che la tecnica sia uno strumento neutrale è contestata da Heidegger, il quale giunge a concludere che tale convinzione non permette di arrivare a comprendere l'essenza della tecnica.
Chi considera la tecnica per qualcosa di neutrale la rappresenta come uno strumento mediante il quale "qualcos'altro è prodotto e ordinato", ma la rappresenta in termini solo strumentali, quindi tecnici. Ma l'essenza della tecnica non è qualcosa di tecnico, ma si limita a "celarsi in esso".
Anche per Jünger la tecnica non è uno strumento neutro, perché impone una scelta di fondo, di adeguamento alle sue logiche, all'utilizzo dei suoi strumenti così come del suo "linguaggio": l'alternativa è rinunciare ad utilizzarla.
Il concepire la tecnica come qualcosa di neutrale, si accompagna quindi ad una visione puramente strumentale della tecnica. Tale visione definisce la tecnica come l'utilizzo di mezzi per il raggiungimento di determinati fini. Heidegger afferma che tale definizione è sicuramente corretta, ed applicabile sia alla tecnica artigianale che a quella moderna, però non mostra l'essenza della tecnica.
Si intende qui affermare innanzitutto che l'essenza della tecnica non risiede nella tecnica stessa. In modo essenziale, per l'obiettivo che si pone questo scritto, la tesi sostenuta da Heidegger è che l'essenza della tecnica è qualcosa che trascende il tecnico; è essa stessa a domi-

nare l' uomo, e non viceversa.
Heidegger si riferisce alla “tecnica moderna”, e con ciò si riferisce letteralmente alla “tecnica motoristica”. Ma il fatto di pensare la tecnica come “tecnica motoristica”, ovvero come macchina, non aiuta nell’indicare l’essenza della tecnica, perché “non si dice quindi nulla circa l’essenza della tecnica moderna se la si rappresenta come tecnica macchinistica”.
Per Heidegger l’essenza della tecnica moderna è l’ “impianto” (Ge-Stell, nella traduzione di Volpi, viceversa “im-posizione” nella traduzione di Vattimo), che era già presente come essenza, in modo latente, molto prima che fossero inventate le macchine.
L' "impianto" come essenza della tecnica non è un semplice prodotto della civiltà: è una sistematica riduzione delle cose a "risorse", ossia è una trasformazione di esse in mezzi di riserva per la produzione. In tal modo le cose vengono svuotate del loro vero senso.
In questo senso, la tecnica “non è universale”, nel senso che le energie e i materiali della natura pongono alla tecnica un limite, che fa rimanere la tecnica dipendente dalla natura, nella misura in cui la natura è fonte e supporto alla risorsa tecnica.
La tecnica moderna, come la tecnica dei greci, è disvelamento, ma il disvelamento che regola la tecnica moderna non “si dispiega in un produrre nel senso della “poiesis” […] è una provocazione, la quale pretende dalla natura che essa fornisce energia che possa essere come tale essere estratta e accumulata”.
Nonostante l’essenza della tecnica moderna mostri il suo carattere di dominio con la nascita della scienza naturale, secondo Heidegger, la “tecnica moderna non è scienza naturale applicata, anzi è la scienza naturale dell’età moderna a essere applicazione dell’essenza della tecnica”.
L’impianto, secondo Heidegger, implica la “dimenticanza dell’essere”: significa che l’essenza dell’essere cade, insieme alla verità, in uno stato di “velatezza”, di nascondimento.
Proprio in questa "dimenticanza" sta il "pericolo, che esprime l'essenza dell'impianto". Però l'impianto è il "pericolo non in quanto tecnica, bensì in quanto essere".
Il pericolo quindi, non è nella tecnica, ma nel mistero della sua essenza: la tecnica non è qualcosa di “demoniaco”, e la minaccia all’uomo non viene dalle macchine e dagli apparati tecnici, ma dalla possibilità dell’uomo di scorgere una forma di “disvelamento più originario”.
Heidegger conclude che, poiché l’essenza della tecnica non è nulla di tecnico, la “meditazione essenziale” sulla tecnica deve avvenire in un campo affine all’essenza della tecnica, ma distinto: il campo dell’arte.

La possibilità di una svolta

Nonostante la presenza di contributi fondati, sul piano filosofico e storico, il dibattito sembra svolgersi, senza soluzione di continuità temporale, in una visione dicotomica, tra posizioni “neopositiviste” che rimarcano il continuo progresso ottenuto grazie alle tecnologie più moderne, e posizioni “tecno-fobiche” che enfatizzano i rischi di ogni nuova tecnologia che si rende disponibile.
A questo proposito Portoghesi, ne “L’infanzia delle macchine” (1981), denunciava il contrasto tra “retori conservatori” che si rifanno alla tradizione artigianale, e “retori del macchinismo”, che accettano acriticamente tutto ciò che proviene dal mondo della tecnica, rinunciando a ricercarne le cause profonde: si proponeva allora di indagare la storia della tecnica attraverso le condizioni sociali ed economiche delle società che le avevano generate, piuttosto che cadere nella trappola delle “risposte aprioristiche” proposte dalle ideologie.
Lo stesso Heidegger afferma che vi è un continuo fraintendimento della tecnica, perché pensata in modo “troppo riduttivo o troppo affrettato”. Le immagini della tecnica come “pericolo”, “sventura per la civiltà superiore”, “catastrofe del mondo moderno”, unitamente all’inseguimento avido dell’ultimo progresso tecnico, determinano in modalità diverse l’opinione sulla tecnica, spesso in modo contraddittorio. Ma questa contraddizione per Heidegger conta poco, di fronte all’errore di non considerare la vera essenza della tecnica come qualcosa di non tecnico, senza poter penetrarne la vera essenza.
Questi diversi atteggiamenti nei confronti della tecnica, opposti tra loro, sbagliano proprio aumentando indefinitamente le potenzialità attribuite alla tecnica, enfatizzandone pregi e difetti, ed ottenendo una duplice conseguenza: da un lato aumentano la distanza tra “tecnica mediata” e “tecnica immediata”, dall’altro estremizzano gli scenari futuri.
Spengler, ad esempio, evoca la fine inevitabile dell’epoca della tecnica meccanica, che verrà disgregata dall’interno della civiltà in cui è stata creata, ma senza poterne prevedere tempi e modi.
In modo diverso alcuni autori provano ad immaginare quale sia l’atteggiamento possibile per superare questa “fase” della tecnica, nella convinzione che l’uomo debba superare l’attuale condizione di dominio-sottomissione.
Jasper, ad esempio, è convinto che la strada della tecnica vada percorsa fino in fondo, con

l'obiettivo di "ritrovarsi", ovvero di recuperare da parte dell'uomo l'esser sé. Superando la tecnicizzazione, l'uomo si renderà libero: ciò implica non solo l'utilizzo sicuro degli strumenti tecnici ma una forma di libertà che si genera "al di sopra degli oggetti materiali".
È viceversa il carattere matematico della tecnica moderna, per Severino, ad essere deviato rispetto all'essenza della tecnica: se ci fosse una forma di conoscenza non matematica più potente della strumentalità matematicamente organizzata, la volontà di potenza della tecnica sarebbe costretta a ridurre questa forma di strumentalità.
Quindi, conclude Severino, le diverse forme dell'idea di uomo nella cultura occidentale tentano di resistere al dominio della tecnica (e questa forma di resistenza per Severino è presente anche nel discorso di Heidegger). In tale discorso è presente una contraddizione insanabile, riferita proprio alla fede dell'uomo nell'esistenza del divenir altro delle cose e nell'esistenza della volontà di realizzarlo come evidenza indiscutibile. Per porre freno alla volontà di potenza della tecnica il pensiero occidentale dovrebbe riconsiderare proprio tali principi.
L'analisi severiniana focalizza la questione della tecnica, evidenziando il carattere della tecnica come volontà di potenza e descrivendo l'impossibilità di porvi freno come conseguenza del principio del divenire della cultura occidentale: il dominio della tecnica non è solamente un "fatto" ma assume carattere di "necessità", perché inevitabile.
In parziale contrapposizione alle tesi sopra enunciate, esistono contributi critici che rimarcano la mancanza di una "proposta positiva di relazione con la tecnica", nel senso di rimandare ad una possibilità diversa o ad una tecnica differente (Nacci, 2000).
La posizione alla quale appare ancora più convincente riferirsi, anche se per certi versi criptica, è quella di Heidegger, quando spiega come il modo in cui l'essere si è espresso come Destino nell'impianto, può essere superato "in base all' avvento di un altro Destino". Però per l'avvento di un nuovo Destino, l'uomo può e deve dare un suo contributo, nella misura in cui egli fa parte dell' essenza stessa dell'essere.
Nell'essenza stessa del pericolo si cela "la possibilità di una svolta", che, mediante un "improvviso lampeggiare della verità", fa emergere dalla dimenticanza dell'essere la sua "salvaguardia", e di conseguenza la verità dell' essere.
Heidegger, afferma che il pericolo stesso "in base alla sua essenza porta ciò che salva". Infatti, la stessa "costellazione dell'essere ci chiama"; e l'uomo come "pastore dell'essere", può, nel pericolo, sentire tale richiamo.
Però, secondo Reale, lo può sentire solo a patto che sappia liberarsi da quel predominio dei prodotti della tecnica (come il cinema, la radio, la televisione e oggi i computer), per cui "l'udire e il vedere vengono meno".
In modo analogo Vattimo interpreta la posizione di Heidegger come la ricerca di una soluzione all'opposizione del soggetto con l'oggetto, attraverso l'uscita dal rapporto di sfruttamento e dominio che l'uomo della tradizione metafisica ha stabilito con le cose e con la natura.
Oltre la possibilità di una "svolta", che cambi in senso heideggeriane il destino dell'essere, i contributi mostrano chiaramente come, nella complessità della ricostruzione di un dibattito sulla tecnica che non solo non può dirsi concluso ma anzi è arricchito da un numero crescente di ricerche e contributi critici, un atteggiamento ideologico o precostituito non porta ad una comprensione profonda della tecnica, perché incapace di comprenderne l'essenza: appare più costruttivo assumere un atteggiamento consapevole dei rischi e dei vantaggi dell'utilizzo delle diverse tecniche, da coniugare specificamente rispetto alle diverse discipline che, in modo specifico, affrontano il tema in questione.

Tecnologie dolci ed ecologia profonda

Lo sfruttamento incondizionato delle risorse naturali ha portato all'attenzione del dibattito, con duplice significato verso le tecnologie di atto d'accusa e di speranza di compensazione, la questione "ecologica", intesa in senso comune come "necessità di conservare e difendere la natura".
Longo sostiene che la crisi ecologica nasce da un "disadattamento sistemico", da uno scollamento delle componenti del sistema "uomo nell'ambiente". Questa visione si fa strada accanto all'applicazione dell'epistemologia informazionale: mentre quella tradizionale è basata sul riduzionismo e sulla separazione delle componenti, la nuova epistemologia attribuisce un'importanza fondamentale al contesto e all'interazione retroattiva tra le parti.
In ogni caso l'utilizzo diffuso delle tecnologie, unitamente allo sfruttamento delle risorse naturali, pone il problema della compatibilità tra il mondo "dato" e il mondo artificiale, e Longo individua in questa compatibilità il "senso dello sviluppo sostenibile".
Occorre però rintracciare le modalità con cui perseguire tale compatibilità: un ricorso sempre più massiccio alla tecnologia per risolvere il problema ecologico, infatti, non ha un esito scontato se è la tecnologia stessa a generare il problema: bisogna cioè scegliere il "tipo di tec-

nologia" da adottare, ovvero parafrasando Zeleny, capire il "brainware", lo scopo al quale la tecnologia è indirizzata, ed utilizzare hardware e software adeguati.
Nasce da qui la proposta delle cosiddette "tecnologie dolci", cioè meno ortogonali ai processi e ai materiali della natura, più rispettose dei dati di fatto all'interno di una visione più ampia, improntata alla "saggezza sistemica".
Questa maggiore consapevolezza rispetto alle problematiche connesse all'uomo, nelle sue relazioni con le risorse naturali e l' "ambiente" in cui vive, deriva in gran parte dagli sviluppi di alcune discipline, la biologia e l'ecologia per l'appunto, che hanno modificato radicalmente la nozione di vita e di natura.
La biologia sviluppando i principi dell'organizzazione vivente e riconoscendo alla base della vita un sistema vivente e complesso; l'ecologia riconoscendo il carattere ecosistemico verso l'idea di organizzazione spontanea e di totalità autorganizzata, che richiama la necessità di un pensiero sistemico.
In questo scenario si fa strada l'idea di una "ecologia profonda", capace di comprendere la complessità delle interazioni tra mondo animato ed inanimato, e la complementarietà tra uomo ed ambiente, nel ciclo dei processi ecologici rispetto alle valenze storico-culturali e organiche.
Crollata la fede nella relazione biunivoca tra sviluppo tecnologico e progresso sociale, la società sta riportando attenzione sull'uomo e sul suo rapporto con l'ambiente: Portoghesi (2005) rintraccia nella comprensione di un "nuovo paradigma" basato sulle nuove conoscenze sistemiche la strada per un atteggiamento migliorativo del rapporto tra uomo e ambiente.

Esiti e prospettive dell'Architettura

La continua innovazione tecnologica riscontrabile in alcuni settori delle attività umane sta di fatto trasformando il rapporto dell'uomo con l'ambiente, con ritmi incredibilmente rapidi rispetto alla sua capacità biologica di adattamento. In altro modo alcune esigenze diffuse, esprimibili ad esempio in termini di sostenibilità e comunicazione, trovano risposte ancora inadeguate se riferite agli esiti architettonici richiamando così la disciplina all'aggiornamento del suo statuto disciplinare.
Nel complesso dei contributi analizzati, alcuni atteggiamenti progettuali contemporanei muovono dalla ricerca sull'involucro edilizio e dalle sue valenze comunicative o simboliche, per indagare a fondo le sue componenti tecnologiche. L'involucro diviene sempre più sottile ma denso di funzioni, con qualità dinamiche, capaci di controllare separatamente la trasparenza, l'apporto di luce naturale, la radiosità verso l'esterno, gli scambi energetici. Così alcuni esiti architettonici manifestano maggiormente, utilizzando tecnologie contemporanee e capacità progettuali con evidenti precedenti storici, la capacità di innovare tecnologicamente l'architettura attraverso la ricerca di mutevoli e dinamiche relazioni sensoriali tra architettura ed ambiente, tra interno ed esterno.
Parallelamente a queste ricerche, l'implementazione delle tecnologie informatiche mira all'evoluzione del concetto architettonico di superficie verso quello di iper-superficie e all'affiancamento di uno spazio virtuale a quello reale, indicando così nuove strade per la ricerca.
Architetture come interfacce, ambienti di realtà aumentata, ambienti sensibili, stimoli emotivi compongono un complesso di nuove sperimentazioni in grado di aumentare le capacità sensoriali, il nostro apprendimento, modificando radicalmente la percezione dello spazio costruito.
In modo differente, ed anticipati dal principio utopico-tecnologico dell'edificio autonomo, nomade, intelligente e da un'architettura dinamica, ma resi più consapevoli rispetto alle recenti istanze poste dalla sensibilità ecosistemica, alcuni atteggiamenti progettuali preludono ad un atteggiamento nuovo rispetto al progetto di architettura, indicando nuove sinergie ricomprese nelle connessioni elettroniche e nei paralleli bioecologici.
Nascono architetture che scambiano energia e informazioni con i contesti, cambiano le proprietà dei materiali mantenendo la forma o, viceversa, cambiano forma in virtù delle proprietà specifiche dei materiali e dei sistemi tecnologici.
Diversamente dalle tecnologie della "mente pura" e dall'auto-isolamento dell'organismo architettonico proposto dalle pulsioni più radicali degli anni sessanta, le possibilità tecnologiche più recenti riscoprono il rapporto uomo-architettura-ambiente, prefigurando architetture che contengano in sé il principio del movimento, così da poter adattarsi alle condizioni dell'ambiente così come alle esigenze dell'uomo.
Rispetto al passato l'architettura incorpora così il concetto di interattività, che coinvolge non solo le sue superfici ma anche le caratteristiche chimico-fisiche dei suoi materiali. L'interattività pone al centro del processo progettuale il soggetto, la personalizzazione, la variabilità delle condizioni al contorno: l'architettura assimila questi assunti e incorpora essa stessa la variazione, sostituendola alla fissità.
È così che, con modalità ed accezioni differenti, l'architettura rintraccia l'innovazione tecnologica attraverso la valorizzazione e la reciprocità delle relazioni tra architettura ed ambiente, favorendo ed incrementando le proprie valenze

sensoriali e materiali.
Si pone così per l'architettura una ricerca, capace di trovare nuovi equilibri tra tradizione e innovazione, tra rapporto storico con la memoria e la tecnica che hanno generato la capacità di relazionarsi con il territorio, e innovazioni capaci di declinare in modo più appropriato il senso dell' "abitare" la contemporanea condizione terrestre.
L'architettura è così chiamata a manifestare nuove tipologie di relazioni virtuose tra uomo e ambiente, attraverso la consapevolezza della doppia direzionalità degli stimoli reciproci: l'esito di tali valenze, come sempre, andrà espresso in termini materiali.
Ma il dibattito sulla tecnica, anche se di carattere prevalentemente extradisciplinare, merita una riflessione ulteriore rispetto agli sviluppi degli ultimi capitoli della ricerca.
La tesi sostenuta, attraverso diversi contributi critici, è che al predominio degli strumenti tecnologici sull'uomo si possa rimediare in diversi modi: innanzitutto raggiungendo una maggiore consapevolezza dei rischi e dei vantaggi connessi all'utilizzo della tecnica e della tecnologia. Inoltre, utilizzando "correttamente" gli strumenti tecnici e tecnologici a disposizione, l'uomo può valorizzare le proprie relazioni ecosistemiche, come mostrato.
In questo quadro complesso, l'architettura è uno degli strumenti in grado di favorire, oltre che di manifestare, la valorizzazione delle relazioni con l'ambiente, attraverso la sua stessa "innovazione tecnologica".

Bibliografia

AAVV, *Grande Enciclopedia Treccani, Istituto dell'Enciclopedia Italiana, Roma, 1992*

AAVV, *Dizionario Enciclopedico di Architettura e Urbanistica (DEAU), Istituto Editoriale Romano, 1968*

ARISTOTELES, *Etica Nicomachea, Laterza, Bari, 1965*

F. BACON, *Saggi; Del progredire della scienza; Nuova scienza, Ed izioni per il club del libro, Milano, 1965*

P. REYNER BANHAM , *L'architettura della prima età della macchina, Calderoni, Bologna, 1970.*

A. BUGATTI, *Lezione al corso di Dottorato in Ingegneria Edile/Architettura Dell'Università degli Studi di Pavia, 2003*

G. CIRIBINI, *Tecnologia e/o Ambiente, Nuova Civiltà delle Macchine, n°2 1984*

D.DE KERCKHOVE, *La pelle della cultura, Costa&Nolan, Genova, 1995*

D.DE KERCKHOVE, *Il pensiero connettivo, De Laurentiis, Roma*

D.DE KERCKHOVE, *L'architettura dell'intelligenza, Testo&Immagine, Torino, 2001*

F. DE LUCA, M. NARDINI, *Dietro le quinte. Tecniche d'avanguardia nella progettazione contemporanea, Testo&Immagine, Torino, 2003*

U.GALIMBERTI, *Psiche e techne, Feltrinelli, Milano, 1999*

A.GEHLEN, *L'uomo nell'era della tecnica, Sugarco, Milano, 1984*

M. HEIDEGGER, *Conferenze di Brema e Friburgo***,** Adelphi, Milano 2002

H. JONAS, *Il principio di responsabilità, Torino, Einaudi, 1990.*

D.LANGENEGGER, *Gesamtdeutungen moderner technik, Konigshausen und Neumann, Wurzburg, 1990*

T.MALDONADO, *Memoria e conoscenza. Sulle sorti del sapere nella prospettiva digitale, Feltrinelli, Milano, 2005*

M. NACCI, *Pensare la tecnica. Un secolo di incomprensioni, Laterza, Roma-Bari 2000*

G.NARDI, *Tecnologie dell'architettura. teorie e storia, Clup, Milano, 2001*

G.NARDI, *Percorsi di un pensiero progettuale, Clup, Milano, 2003*

M. PALUMBO, *Nuovi Ventri. Corpi elettronici e disordini architettonici, Testo&Immagine, Torino, 2001*

P.PORTOGHESI, *Geoarchitettura, Skira, Milano, 2005*

L. PRESTINENZA PUGLISI, *La rivoluzione informatica / Hyper Architettura, Testo & Immagine, Torino 1998.*

A. ROGER, *Definizione di ambiente, in Lotus Navigator n.5, Fare l'ambiente, Electa, Milano, Maggio 2002*

E. SEVERINO, *Tèchne: alla radice della violenza, Rusconi, Milano, 1979.*

E. SEVERINO, *Il destino della tecnica, Rizzoli, Milano, 1998.*

E. SEVERINO, *Tecnica e Architettura, Raffello Cortina, Milano, 2003.*

E. VITTORIA, *Tecnologia, progettazione, architettura, in Casabella 375 1973.*

L'ARCHITETTURA DELL'ACCIAIO IN ITALIA

Marcello Zordan

Università degli Studi di L'Aquila – Dipartimento di Architettura e Urbanistica
XVIII Ciclo
Tutor: Prof. Sergio Poretti; Prof. Mario Centofanti

Il rapporto tra scelte costruttive e sistema figurativo - nei modi in cui si sviluppa nelle fasi della progettazione esecutiva dell'opera determinata - è un elemento conoscitivo di natura operativa, direttamente legato alle problematiche del progetto.
Sono questi i temi intorno ai quali si sviluppa la ricerca, il cui obiettivo principale è quello di fornire gli elementi per la ricostruzione della complessa vicenda dell'uso dell'acciaio, nell'architettura italiana, tra Ottocento e Novecento.
In effetti, molti sono gli studi elaborati su questi argomenti, e sulle costruzioni metalliche in generale; al tempo stesso, però, vi sono numerosi aspetti poco approfonditi che meritano una maggiore attenzione. In particolare, spesso, non si affrontano i temi legati alla costruzione né i rapporti che la legano all'evoluzione del linguaggio formale.
A partire da dati oggettivi ci si è, dunque, orientati a riconoscere in modo puntuale la misura e le modalità con le quali i caratteri tipologici, costruttivi e figurativi influiscono singolarmente e nelle loro reciproche implicazioni. L'analisi, quindi, si concentra sul rapporto intercorso tra il progresso tecnico e tecnologico e il linguaggio architettonico.
La finalità operativa in chiave progettuale dell'indagine storica, inoltre, ha indotto ad affiancare alla ricostruzione degli eventi sondaggi su opere determinate. La concentrazione dell'analisi sul caso concreto, infatti, ha consentito di cogliere nell'indagine storica la specificità progettuale della singola opera.
Condotta su base bibliografica, archivistica e con indagini dirette, la ricerca mira a ripercorrere, laddove possibile, oltre a l'iter ideazione-progettazione, le vicende esecutive e il processo di costruzione dell'edificio.
La ricerca si articola in tre parti.
Nella prima, **L'eta' della ghisa e del ferro, l'avvento dell'acciaio,** si ricostruiscono le linee evolutive, nel settore della tecnologia dei materiali e nel campo della "teoria strutturale", che concorrono allo sviluppo dell'architettura del ferro tra la metà del secolo XIX e i primi anni del Novecento. La ricostruzione riguarda la situazione dell'Italia messa a confronto con le vicende internazionali. In questo quadro le opere analizzate negli specifici aspetti progettuali sono: le grandi coperture dell'Ottocento, la Galleria Vittorio Emanuele II di Milano, i ponti a travata, il ponte di Paderno.
Nella seconda parte, **La costruzione metallica in Italia tra le due guerre**, si ricostruisce il complesso dei tentativi di sperimentazione condotti in Italia nel periodo della modernizzazione. In questo contesto si analizza, da un lato, il rapporto tra il sistema costruttivo e il linguaggio architettonico nelle poche opere o parti di opere realizzate (la "casa a struttura di acciaio" alla V Triennale di Milano, la sede della Reale Mutua Assicurazioni a Torino, l'edificio per uffici in via Roma a Torino, Casa Feltrinelli a Milano, la copertura del Palazzo dei Congressi all'Eur, il salone al pubblico nel Palazzo delle Poste in via Marmorata a Roma), dall'altro si propone una lettura critica dei progetti mai realizzati (la "Tensistruttura" ideata da Guido Fiorini) con l'intento di esaminarne i caratteri innovativi.
Nella terza parte, **L'acciaio nell'architettura italiana del dopoguerra**, si delinea il ruolo che l'uso di questo materiale assume prima durante la ricostruzione, poi negli anni del boom economico ed infine nel periodo in cui si tenta di sviluppare il processo di industrializzazione. In questa fase, decisamente più articolata delle precedenti, si analizzano esperienze di natura diversa: da quelle, assolutamente eccezionali condotte all'interno del "piano INA Casa" (il PRA' Italsider a Genova), alle "icone" dell'architettura italiana degli anni Cinquanta e Sessanta (la Rinascente e la sede dell'ADISU a Roma), dagli esempi più significativi di applicazione dei sistemi costruttivi tipici di edilizia industrializzata, alle opere di grande impegno strutturale che si realizzano in acciaio (il Palazzo del lavoro per Italia '61 a Torino, la cartiera Burgo a Mantova, il Nuovo Mercato dei fiori a Pescia).

Il risultato è, dunque, una vicenda in gran parte inedita che offre spunti interessanti, sia per l'evoluzione del linguaggio architettonico delle costruzioni in acciaio, sia per il valido contributo alla storia dell'ingegneria italiana alla quale partecipano, oltre ad una serie di progettisti e teorici di chiara fama, numerosi personaggi - tra tecnici, imprenditori e "non addetti ai lavori" - meno conosciuti, che concorrono allo sviluppo dell'architettura dell'acciaio in Italia, vicenda tanto diffusa in maniera episodica, rispetto alle tecniche costruttive tradizionali, quanto ricca di sperimentazioni assolutamente interessanti e stimolanti.
La ricostruzione, tracciata sinteticamente di seguito, produce un tipo di conoscenza storica particolare, supporto base, direttamente utilizzabile nella progettazione.

L'età della ghisa e del ferro, l'avvento dell'acciaio

L'ARCHITETTURA DEL FERRO E VETRO

Le origini dell'architettura del ferro e vetro vanno ricercate tra la fine del Settecento e l'Ottocento quando, parallelamente ai cambiamenti che investono il mondo del lavoro e l'economia di produzione, si evolvono le tecnologie dei materiali.
Il comparto dell'edilizia, influenzato dalle nuove scoperte, sperimenta i diversi sistemi costruttivi basati sulla combinazione di ferro e vetro - materiali fino ad allora poco utilizzati in architettura - realizzando strutture nelle quali "leggerezza e trasparenza" assumono un ruolo fondamentale sia per le scelte tecnologiche che per quelle figurative. A questa impostazione appartengono molte delle sperimentazioni avviate in Europa e in Italia dalla metà del XIX secolo in poi.
Il settore delle grandi coperture, in particolare, si sviluppa progressivamente in questi anni trovando la sua naturale applicazione nelle serre, nelle gallerie cittadine e nelle stazioni ferroviarie.
La morfologia di questi edifici, caratterizzati da spazi liberi di grandi dimensioni e ampie superfici trasparenti, si presta alla sperimentazione, tecnologica e architettonica, della struttura metallica combinata con chiusure in lastre di vetro.
Una delle prime opere, tra le più significative di questa nuova espressione, il Crystal Palace[1], è realizzata nel 1851 a Londra su progetto di Joseph Paxton (Fig. 1). Sorto con lo scopo di ospitare l'Esposizione Internazionale dei prodotti dell'industria, l'edificio in ferro e vetro diviene luogo di sperimentazione di nuove concezioni costruttive e formali. E' assemblato a partire da un sistema ripetitivo composto da colonne in ghisa di sezione circolare cava sulle quali poggiano travi a struttura reticolare in ferro o ghisa (Fig. 2). L'involucro esterno, totalmente trasparente, trasmette un'immagine di assoluta novità per il periodo. In effetti il "giardiniere" Paxton aveva già sperimentato precedentemente le "nuove" tecnologie in diverse occasioni, per la costruzione di serre in particolare, ma l'importanza assunta dal Crystal Palace in termini sia costruttivi che di linguaggio segna un vero e proprio traguardo per l'architettura del ferro e vetro.
Sulla scia del Crystal Palace le molteplici opere realizzate negli anni successivi si incentrano principalmente sulla costruzione di giardini d'inverno, strutture estremamente flessibili, sulle quali viene portata avanti una inarrestabile sperimentazione.
Parallelamente, in Francia, la costruzione metallica trova nuovi spazi e si inserisce all'interno di importanti edifici pubblici[2]. Nella Bibliothèque Nationale di Parigi (1857 - 1867), progettata da Labrouste, la sala di lettura è costituita da un unico ambiente a pianta centrale, le cui strutture portanti in ferro sono lasciate in vista (ma solo all'interno, mentre sul perimetro permane il tradizionale apparecchio murario) (Fig. 3).

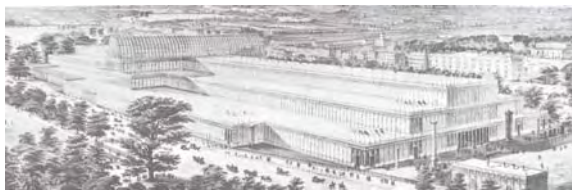


Fig. 1: Il Crystal Palace. Londra. J. Paxton. 1851. Disegno d'epoca

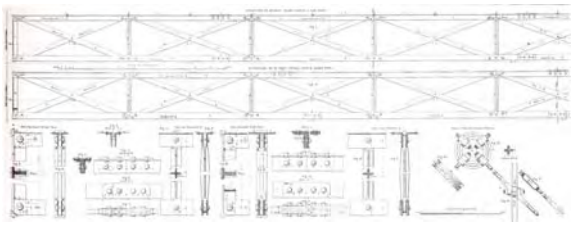


Fig. 2: Il Crystal Palace. Londra. J. Paxton. 1851. Dettagli costruttivi della struttura metallica.

In Italia, i riflessi di questi sviluppi a livello internazionale si riscontrano con notevole ritardo anche se, già a partire dalla prima metà dell'Ottocento e negli anni immediatamente seguenti, è possibile rilevare i primi isolati esempi di costruzioni in ghisa e ferro, come la galleria De Cristoforis di Milano o la chiesa di San Leopoldo a Follonica[3].

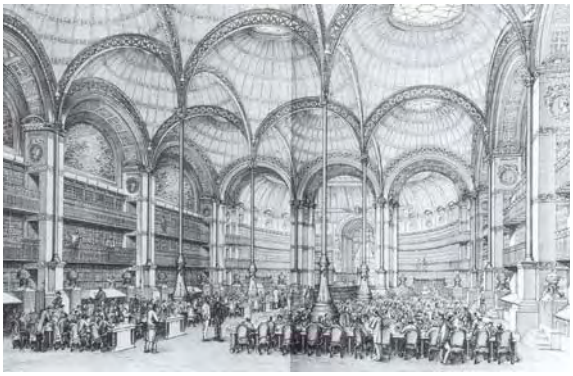


Fig. 3: Bibliothèque Nationale. Parigi. H. Labrouste. 1857-1867. Immagine d'epoca della sala lettura.

La Chiesa, costruita nel 1838 su progetto di Carlo Reishammer, è caratterizzata dall'inserimento di elementi metallici accessori con notevole valore figurativo, mentre il ruolo statico principale dell'edificio, è ancora risolto con una tradizionale struttura muraria.
Nella galleria di Milano (A. Pizzala, 1832), invece, al ferro e al vetro, con cui è realizzata l'intera copertura, è affidato un compito costruttivo maggiore. Gli effetti ricercati nella Galleria De Cristoforis sembrerebbero aprire, già a partire da questo periodo, le premesse per uno sviluppo dell'impiego del ferro e vetro in architettura, anche se bisognerà attendere la seconda metà del XIX secolo per vedere realizzate, anche in Italia, una serie di opere esemplari.
Le grandi coperture (i progetti a Palermo di Filippo Basile e Giuseppe Damiani per le cupole in ferro dei teatri Massimo e Politeama[4] (Fig. 4)), le gallerie cittadine (come quelle di Milano, Genova, etc.), le stazioni ferroviarie realizzate per le principali linee di collegamento, costituiscono gli esempi più interessanti.

Fig. 4: Copertura del teatro Politeama Garibaldi. Palermo. G. Damiani Almeyda. 1877. Disegno di sintesi.

L'EVOLUZIONE DEI PONTI NELLA PRIMA METÀ DEL SECOLO XIX

Parallelamente all'impiego della costruzione metallica nell'architettura del ferro e vetro, un altro grande settore si sviluppa in Europa a partire dalla fine del XVIII secolo: quello dei ponti.
In questo periodo il tema del superamento della grande luce diviene un'occasione favorevole per l'impiego dei nuovi materiali da costruzione e per la sperimentazione di modelli strutturali innovativi.
Il primo ponte interamente metallico realizzato al mondo è quello ad arco in ghisa, di 30 metri di luce, progettato, nel 1779, a Coalbrookdale da Abraham Darby. Sull'onda del successo ottenuto da quest'opera, ancora oggi considerata simbolo della rivoluzione industriale, anche in Francia, alla fine del XVIII secolo, si avanzano una serie di proposte di ponti ad arco in ferro e in ghisa[5], che però non vengono mai attuate (Fig. 5).
Soltanto nei primi anni dell'Ottocento, sulla base di questi modelli, ripresi e sviluppati, vengono realizzati alcuni ponti. Ma, gli archi su cui sono poggiati gli impalcati, realizzati in conci di ghisa, presentano un inconveniente che si manifesta da subito per quelle prime strutture ad archi metallici particolarmente sensibili agli effetti dei carichi variabili: il problema delle grandi deformazioni dei conci dovute alla flessione degli archi che induce sollecitazioni alternate nei giunti tra i conci di ghisa, provocando frequenti rotture.
Il problema è, dunque, quello di contrastare la deformazione flessionale dell'arco e dei conci di ghisa: per questi ultimi sarebbe sufficiente inserire una coppia di diagonali in ciascuno di essi; per l'arco il problema è più complesso ed è Thomas Telford a riconoscere per primo la possibilità di utilizzare i timpani quali elementi di irrigidimento fra arco e impalcato.
Telford mette a punto questo sistema nel 1801 per il famoso progetto del ponte sul Tamigi a Londra, nella prima versione del ponte sul Menai (1810)[6] e lo applica più volte in altre opere, fra cui i ponti di Bonar e di Craigellachie (1811-1815), entrambi di 46 metri di luce (Fig. 6).
A partire dagli anni Venti, in tutta Europa, il problema del ponte stradale di grande luce, dopo diverse sperimentazioni sul modello dell'arco in ghisa, trova evoluzione in un'altro tipo: il ponte sospeso (del tipo francese a fasci di fili di ferro o del tipo inglese a catene).
Lo stesso Telford in Gran Bretagna realizza numerose opere di questo tipo fra le quali il ponte sul Menai (1819-1826, luce 176 metri). Si tratta di ponti molto leggeri e deformabili, i cui impalcati di legno, privi di sufficiente

rigidezza flessionale in rapporto alla luce, necessitano di continua manutenzione. La loro deformabilità, poi, si dimostra incompatibile con il traffico ferroviario e ciò appare evidente subito, fin dalla prima realizzazione sul fiume Tess (Samuel Brown, 1830) (Fig. 7). Per questo quando Stephenson viene incaricato, nel 1844, di progettare un ponte ferroviario sul Menai, con luce di oltre cento metri, per non ostacolare la navigazione dello stretto, abbandonando l'idea di un ponte sospeso, propone una struttura ad arco in conci di ghisa.

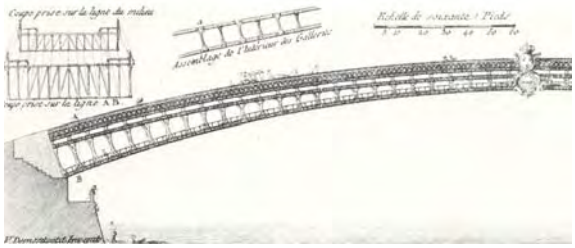


Fig. 5: Progetto per un ponte di 120 metri di luce. Francia. V. de Montpetit. 1783.Sezione.

Fig. 6: Il ponte di Craigellachie sullo Spey. T. Telford. 1812-1815. Vista d'insieme.

Fig. 7: Ponte ferroviario sospeso sul fiume Tess. S. Brown. 1830. Vista d'epoca e pianta.

Si tratta di un progetto di grande interesse tecnico, che però trova una serie di opposizioni e rimane sulla carta[7].
Gli anni successivi, fra il 1845 e il 1850, segnano una svolta nella storia della costruzione dei ponti. Infatti, per risolvere problemi simili a quelli presentatisi, nel 1844, si sperimenta un nuovo sistema costruttivo basato sullo sfruttamento della travata a sezione tubolare. Questa, che si mostra subito adatta per luci di notevole dimensioni, si afferma nella costruzione del ponte Britannia (R. Stephenson, W. Fairbairn, E. Hodgkinson, 1850) il quale rappresenta ancora oggi uno degli esempi più importanti di soluzione a travata, *record* di luce (140 m) al momento della costruzione. Inoltre, il Britannia è anche il primo ponte metallico interamente realizzato con profilati e lamiere di ferro chiodate, tecnica tratta dalla costruzione navale che, a partire da quest'opera, si impone nella costruzione dei ponti in tutto il mondo (Fig. 8).
I vantaggi derivanti dall'adozione della trave a sezione tubolare si estendono con notevole rapidità anche negli altri tipi di ponti, in particolare in quelli reticolari. A partire dall'Inghilterra, ma poi anche in Germania e Svizzera, si costruiscono le prime grandi travi reticolari a graticcio in profilati e piatti chiodati.
Già alla fine degli anni Cinquanta il ponte ferroviario a travata trova alcune realizzazioni di notevole interesse come nel caso dell'attraversamento sulla Vistola a Dirschau e nel viadotto di Grandfey sulla Sarine (1857-1862), vicino a Friburgo (Fig. 9).
Il successo dei primi ponti a travata di grande luce per uso ferroviario, sia quello a parete piena, più diffuso in Inghilterra e Francia, sia quello a parete reticolare adottato, in Germania, (insieme al prestigio dei progettisti, fra cui figurano i nomi di Stephenson, Brunel, Fairbairn) ne provoca la grande diffusione in tutti i paesi europei, a partire dal 1850[8].
In Italia, sulla scia di queste sperimentazioni, e grazie anche al contributo dell'"Impresa Industriale Italiana di Costruzioni Metalliche" di Alfredo Cottrau, che nel frattempo si afferma come la più significativa nel campo delle strutture metalliche, si realizzano, a partire dagli anni Settanta dell'Ottocento una serie di opere esemplari (Fig. 10). Ponti e viadotti a travata di notevole interesse costruttivo e formale, in particolare, vengono costruiti in occasione dell'ampliamento della rete ferroviaria.
Questi anni sono, dunque, riconosciuti come il periodo d'oro per l'evoluzione dei ponti a travata in Italia. Essi si sviluppano a partire dalle prime applicazioni di strutture a doppio traliccio, come nel ponte dell'Industria a Roma, per poi evolversi nella travata rettilinea configurata a cassone, nei ponti sul Po.
La grande quantità di ponti e viadotti realizzati in questo periodo, inoltre, influenza la tecnica della costruzione metallica da un punto di vista più generale, determinando l'abbandono delle costruzioni in ghisa a vantaggio della concezione tubolare e della conformazione reticolare delle strutture in ferro e acciaio.

Fig. 8: Ponte Britannia. Inghilterra. R. Stephenson, W. Fairbairn, E. Hodgkinson. 1850. Vista d'insieme.

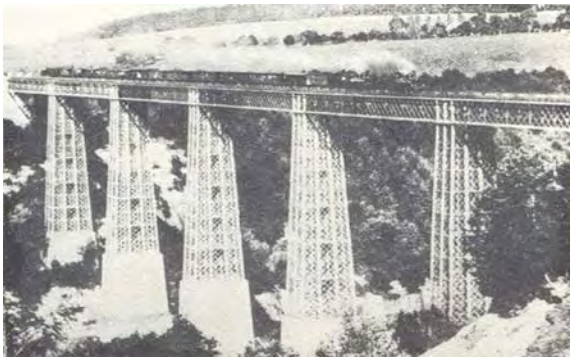


Fig. 9: Viadotto ferroviario a struttura reticolare di Grandfey sulla Sarine. Ditta Creusot. 1857-1862.

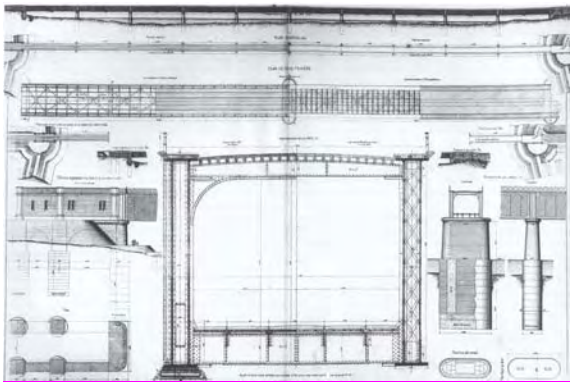


Fig. 10: Ponte a travata sul Po a Mezzanacorti presso Pavia. 1964-1967. Disegni esecutivi.

LO SVILUPPO DELLA COSTRUZIONE METALLICA NEGLI ANNI OTTANTA DEL XIX SECOLO

Negli ultimi due decenni del XIX secolo maturano le condizioni per una vera e propria svolta nel settore delle costruzioni metalliche.
Da una parte, nel campo della scienza delle costruzioni, si risolvono una serie di problemi teorici che avevano impedito fino ad allora di applicare la teoria dell'elasticità a sistemi iperstatici complessi (quali erano la maggior parte delle grandi strutture), compresa la risoluzione dell'arco incastrato alle spalle.
Si aprono, a questo punto, due vie parallele: quella analitica con gli apporti di Maxwell, Menabrea, Muller-Breslau e Brasse (quest'ultimo con particolare riferimento al tema dell'arco); quella grafica con la rivoluzionaria invenzione della "statica grafica" ideata da Culmann e sviluppata successivamente da Ritter[9], al quale spetta il merito di averle dato applicabilità pratica.
Contemporaneamente, nel campo della siderurgia, si passa definitivamente dall'era della ghisa e del ferro all'era dell'acciaio. Quest'ultimo - del tipo Bessemer[10] prima, Thomas[11] e Martin-Siemens[12] poi - era in produzione già a partire dalla metà degli anni Cinquanta, ma soltanto negli ultimi decenni del secolo si innesca, di fatto, un processo di sostituzione del ferro pudellato e della ghisa

con l'acciaio.
Questa doppia svolta, scientifica da un lato e tecnologica dall'altro, spiega il progresso che si riscontra nella realizzazione delle grandi strutture.
Nella costruzione dei ponti si ritorna al modello statico dell'arco ma con struttura reticolare in acciaio e luci notevoli. Il primo a sperimentarla è Eads, con le tre campate di oltre 150 metri sul Mississippi a St. Louis; tre anni dopo Thesphile Seyrig e Gustave Eiffel, in Europa, con la campata unica di 160 metri che supera il Douro a Porto. Quest'ultimo, denominato "il ponte di Maria Pia", rappresenta in quel momento l'arco metallico più grande del mondo. Eiffel, qualche anno dopo, realizza in Francia il Garabit[13], di identica luce (Fig. 11).
Anche nelle grandi coperture si raccolgono i successi delle nuove teorie e dei prodotti messi a disposizione dal settore industriale. La Galerie des Machines di Victor Contamin, eretta a Parigi nel 1889 e progettata in collaborazione con l'architetto Ferdinand Dutert, è sicuramente uno degli esempi più rappresentativi che testimonia questi cambiamenti (Fig. 12). Il modello statico di Contamin, ispirato agli studi di Eiffel per i viadotti, è costituito da una serie di archi a tre cerniere, di 115 metri di luce, che coprono un unico ambiente indiviso mediante travi secondarie a traliccio.
Parallelamente, i progressi in campo scientifico e tecnologico in America determinano le condizioni per lo sviluppo della vicenda dei grattacieli. A New York e in altre città statunitensi si diffonde la soluzione di strutture multipiano in acciaio progressivamente più leggere e quindi capaci di raggiungere grandi altezze.

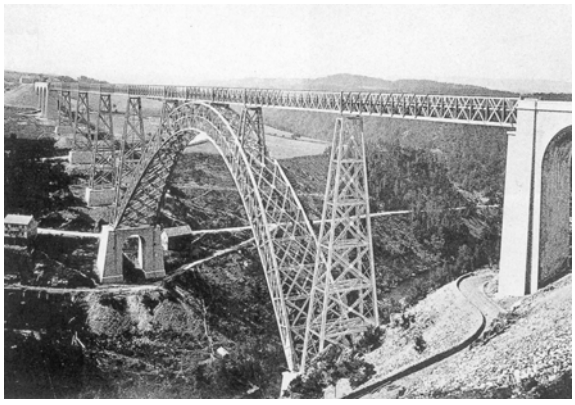


Fig. 11: Ponte ferroviario di Garabit sulla Trujère di 160 metri di luce. Eiffel e Boyer. 1884.

Anche in Italia i riflessi di questi progressi sono immediati, grazie anche all'apporto dell'attività della Società Nazionale delle Officine di Savigliano, e trovano riscontro, in particolare, nel Ponte di Paderno, una delle prime grandi strutture ad arco progettate secondo la teoria dell'ellisse di elasticità[13], nuovo successo in campo scientifico (Fig. 12).
Con lo sviluppo della rete ferroviaria nazionale si avvia, dunque, un ventennio in cui l'architettura dell'acciaio sembra entrare a pieno titolo nel vasto campo delle costruzioni trovando applicazione tanto in opere di carattere eccezionale quanto nell'edilizia civile rappresentativa (stazioni, gallerie etc.) (Fig. 13).

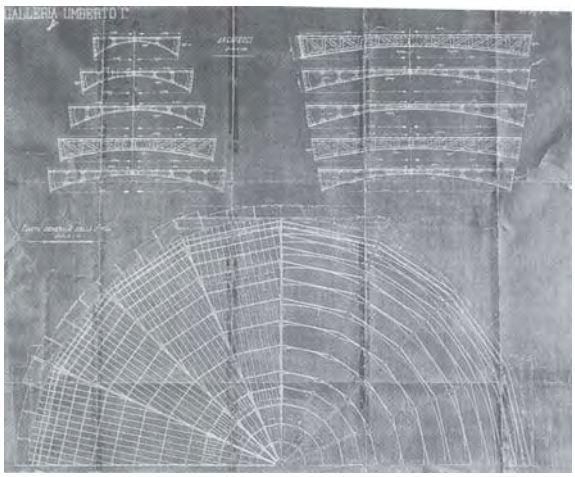


Fig. 12: La Galleria Umberto I. Napoli. E. Rocco. 1887-1890. Disegni esecutivi.

Molte sperimentazioni, inoltre, vengono avviate nell'ambito del dibattito architettonico e, in particolare, nei primi anni del Novecento, quando, nell'edilizia per l'industria, le fabbriche diventano modelli per una nuova architettura. Nella maggior parte di queste, come ad esempio per i capannoni delle officine FIAT a Torino, viene esaltata la smaterializzazione della parete perimetrale a struttura metallica risolta nel rapporto tra superficie vetrata e telaio in acciaio.
Questo periodo di progressiva diffusione, però, avrà breve durata; con l'evoluzione della tecnica del cemento armato e l'avvicinarsi del conflitto mondiale, infatti, l'architettura dell'acciaio rimarrà confinata in un alveo più circoscritto, seguendo comunque un suo percorso di sviluppo tecnico parallelo.

Fig. 13: Il ponte di Paderno d'Adda. G. Rothlisberger. 1889. Vista d'insieme.

La costruzione metallica in Italia tra le due guerre

LA SPERIMENTAZIONE SULLA COSTRUZIONE IN ACCIAIO NEL PERIODO DELLA MODERNIZZAZIONE

Negli anni Trenta del Novecento, in Italia, parallelamente allo sviluppo del dibattito sull'architettura moderna, nell'edilizia corrente si rafforza definitivamente la costruzione mista in cemento armato e muratura.
Parallelamente, anche se in secondo piano, la costruzione metallica continua ad avere un ruolo nel panorama edilizio, in particolare, stimolata dal rinnovamento del linguaggio architettonico. Diviene, in poco tempo, oggetto di una intensa attività promozionale e divulgativa, oltre che di una interessante ricerca sperimentale e costruttiva.
Un ruolo da protagonista è svolto, a partire dal 1930, dall'ANFIMI (Associazione Nazionale Fascista fra gli Industriali Metallurgici Italiani), sotto la spinta di Giorgio Enrico Falck, fondatore delle omonime Acciaierie e Ferriere Lombarde. L'Associazione pubblica monografie, partecipa a Fiere ed esposizioni e lancia concorsi di progettazione: il primo di questi, bandito nel 1931 per lo studio di costruzioni a struttura di acciaio - intitolato al fondatore dell'associazione -, è articolato in due sezioni riguardanti rispettivamente "l'applicazione delle strutture metalliche nelle ordinarie costruzioni di abitazione cittadina" e "lo studio di un fabbricato a struttura metallica destinato a grande magazzino (Fig. 14) di vendita per il centro di una importante città italiana"[14].
Al concorso del 1931 seguono quelli, di minor rilievo, per un progetto di edificio antisismico e per lo studio di tettoie per uso agricolo, banditi in accordo con il Sindacato Nazionale Fascista Ingegneri.
Ma, l'esito poco soddisfacente di questi concorsi, mette subito in luce lo scarso livello di aggiornamento degli architetti e, soprattutto, la difficoltà di avviare un rapporto tra progettisti e industria. Anche nell'ambiente universitario, fatta eccezione per il "Corso libero di costruzioni in acciaio" presso il Regio Istituto Superiore di Ingegneria a Torino, all'acciaio non è rivolta particolare attenzione.
L'ANFIMI, comunque, promuove anche ricerche sperimentali, in particolar modo incentrate sulle problematiche inerenti la protezione del ferro dall'ossidazione e dal fuoco. Ma, questa attività svolta anche attraverso le riviste, le mostre, i convegni e le interessanti sperimentazioni delle Triennali milanesi, non è comunque sufficiente a

rendere l'ossatura metallica competitiva rispetto alle strutture tradizionali.
Anche Giuseppe Pagano si impegna in una costante azione a favore dell'applicazione delle strutture in acciaio, ponendo, nei suoi interventi sulla pubblicistica specializzata, l'attenzione sul valore di assoluta modernità del materiale e delle soluzioni costruttive che offre (sottigliezza nei pilastri, leggerezza, rapidità di esecuzione, abolizione delle casseforme e delle armature, resistenza alla trazione etc).
Collaborano a questa campagna anche altri architetti noti, come Enrico Griffini, Gaetano Minnucci, Piero Bottoni, che curano rubriche specifiche e pubblicano repertori aggiornati. Non sono da dimenticare, poi, i manuali didattici, come "La pratica delle Costruzioni Metalliche", completi delle informazioni sulle caratteristiche geometriche dei profilati, sulle modalità di impiego e sulle indicazioni normative e di capitolato.
Ma, oltre alle riviste di settore, l'acciaio viene inserito nel più generale dibattito sui materiali nuovi condotto da architetti, ingegneri, industriali, tecnici ed economisti su quotidiani anche non di settore, tra i quali ad esempio "L'Ambrosiano".

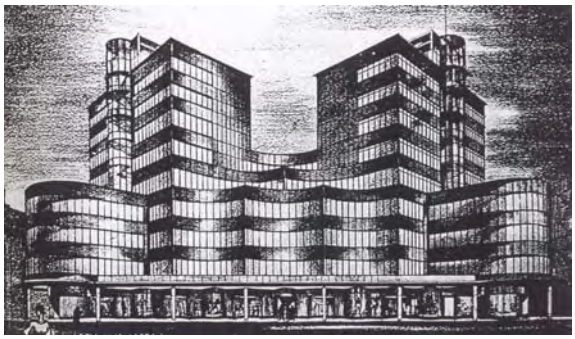


Fig. 14: Concorso Falck. Progetto di un grande magazzino. I. Sabbatini. 1932.

Contemporaneamente, nell'ambito della V Triennale di Milano, viene allestita una mostra dell'abitazione moderna destinata ad illustrare temi specifici legati anche all'utilizzo dell'acciaio. Dei ventuno edifici realizzati quattro sono in struttura metallica, anche se, in realtà, soltanto tre di questi manifestano la sincera volontà di mostrare le possibilità espressive ed economiche offerte da questo sistema costruttivo: la "casa a struttura d'acciaio" su progetto di Giuseppe Pagano, Franco Albini, Renato Camus, Giancarlo Palanti, Giuseppe Mazzoleni e Giulio Minoletti (Fig. 15); la "abitazione tipica a struttura d'acciaio" di Luigi Carlo Daneri e Luigi Vietti; la "casa tutta di acciaio" promossa dalla Società anonima Costruzioni edilizie "Tuttoacciaio"[15] (Fig. 16).

L'obiettivo è, dunque, quello di dimostrare come l'acciaio permette di affrontare il tema dell'abitazione in termini concreti e produttivi[16].
Oltre agli edifici sperimentali viene presentata, a scopo pubblicitario, la Torre Littoria realizzata in tubi di acciaio Dalmine e progettata da Gio Ponti e Cesare Chiodi[17].

Fig. 15: La "casa a struttura di acciaio". V Triennale di Milano. G. Pagano, F. Albini, R. Camus, G. Palanti, G. Mazzoleni, G. Minoletti. 1933. Foto di cantiere.

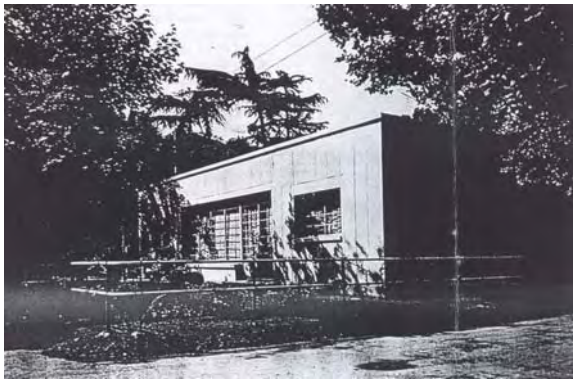


Fig. 16: La "casa a tutta di acciaio". V Triennale di Milano. 1933. Foto d'epoca.

Questi manufatti sperimentali vengono, quindi, realizzati anche grazie all'apporto degli uffici tecnici delle industrie di lavorazione che interagiscono direttamente anche nelle fasi della progettazione. In questo senso, oltre la Dalmine, hanno un ruolo decisivo le numerose imprese più direttamente coinvolte nello sviluppo della tecnica della costruzione in acciaio, in particolare la Società Nazionale delle Officine di Savigliano e la Badoni che offrono largo spazio, all'interno della propria attività, alla sperimentazione.
La Savigliano, per esempio, con l'intento di perfezionare la tecnica della saldatura ad arco elettrico, affianca alla ricerca sperimentale studi teorici in continuo aggiornamento grazie alle bibliografie tecniche più avanzate[18]. Sostiene, inoltre, numerose sperimentazioni

anche in campo progettuale come nel caso della “Tensistruttura”, ideata da Guido Fiorini in analogia a modelli americani del grattacielo e della struttura strallata[19] (Fig. 17), che rappresenta sicuramente l’esperienza più significativa. Sono note, inoltre, altre proposte progettuali per la costruzione di edifici per abitazione, borgate rurali, aeroporti civili e piccole case in serie ampiamente pubblicizzate attraverso i bollettini tecnici utilizzati dalla Savigliano sin dalla fine del XIX secolo.

Fig. 17: Progetto di un grattacielo in “Tensistruttura”. G. Fiorini. 1933. Prospettiva d’insieme.

Pubblicati bimestralmente, con prevalente carattere divulgativo, essi, da un lato trattano i programmi produttivi della società, e dall’altro illustrano in dettaglio le opere in costruzione metallica realizzate e i perfezionamenti tecnologici acquisiti.
Ma, nonostante tutti questi progressi rimangono poche le realizzazioni. La ragione risiede, con ogni probabilità, nel fatto che una larga diffusione della costruzione metallica avrebbe innescato fenomeni di concentrazione imprenditoriale che, invece, la politica edilizia escludeva in favore di cantieri artigianali (con l’applicazione della costruzione muraria e in cemento armato).
Tra i rari esempi di strutture a scheletro in acciaio troviamo: le navate metalliche della Stazione centrale di Milano (1929), i fabbricati industriali per la società Pirelli alla Bicocca con ossatura metallica interamente saldata (1933), la nuova sede a Torino della Società Reale mutua di assicurazione (1932), l’edificio per uffici e appartamenti in via Roma della stessa società su progetto di Armando Melis e Giovanni Bernocco (con la caratteristica torre a venti piani fuori terra) (1933-35) (Fig. 18), il Salone al pubblico nel palazzo delle poste di Adalberto Libera e Mario De Renzi a Roma (1933), la casa Feltrinelli a Milano realizzata dalla società Badoni (1933-1935) (Fig. 19), le soluzioni a struttura di acciaio saldata per gli hangar aeroportuali ed altri.

Fig. 18: L’edificio in via Roma a Torino. A. Melis, G. Bernocco. 1937. Vista d’insieme.

Fig. 19: La casa Feltrinelli. Milano. A., L. Belgiojoso. 1933 - 1935. Foto d’epoca.

In questo periodo la ricerca e la sperimentazione, incentivata da motivazioni economiche oltre che dall'innovazione tecnologica e formale, riguarda, inoltre, lo studio sui serramenti. Lo sviluppo di questo elemento "meccanico", caratteristico di un edificio, risulta di particolare importanza se confrontato al tema più generale della modernizzazione dell'architettura e delle tecnologie.
Inizialmente l'uso dell'acciaio per la realizzazione dei telai dei serramenti è, in prevalenza, diffuso nei fabbricati industriali e nelle serre.
Raramente se ne trovano applicazioni nell'edilizia residenziale. All'inizio degli anni Trenta si diffonde in Italia un nuovo tipo di serramento: il "ferrofinestra". Quest'ultimo, sulla spinta dello sviluppo industriale e della nuova concezione di funzionalità e razionalità delle costruzioni edilizie20 si impone ben presto come il nuovo profilo "razionale", adatto anche come tipologia d'impiego nelle abitazioni; ciò nonostante non avrà, in Italia, una grande diffusione nell'edilizia corrente. Sarà piuttosto impiegato nelle grandi vetrate di edifici pubblici importanti come il Rettorato e la torre delle aule della Scuola di Matematica a Roma di Gio Ponti (1932-1935), il Palazzo delle Poste a Napoli di Giuseppe Vaccaro (1928-1936) ed altri.

L'AUTARCHIA E LA CONSEGUENTE RIDUZIONE DELL'IMPIEGO DELL'ACCIAIO NELLE COSTRUZIONI. LA DIFESA DI PAGANO E DI "CASABELLA".

Con le sanzioni e l'autarchia, alle motivazioni di fondo della politica edilizia anti industriale si aggiungono impellenti ragioni belliche. Persino il cemento armato, ormai diffuso nella pratica corrente, viene rimesso in discussione per il tondino di importazione in esso contenuto (innescando così una sperimentazione utopistica, quanto ricca, di strutture in cemento debolmente armato o addirittura senza impiego di ferro).
In questo clima, che minaccia l'estinzione della costruzione metallica, l'attività di propaganda-divulgazione promossa da Pagano[21] alla Triennale e sulle pagine di "Casabella" si trasforma in una disperata difesa.
La rivista, che nel 1938, a partire dal numero 121, cambia significativamente il nome in "Casabella Costruzioni", sostiene con forza l'esigenza di uno studio organico per la riduzione dei costi dell'edilizia e per un uso razionale dei materiali.
Si chiamano a difendere la necessità "storica ed estetica" del ferro architetti ed ingegneri di fama, come Banfi, Cosenza e Nervi, anche attraverso un referendum22. Nello stesso anno, con il numero di aprile (124), nasce una rubrica specifica, "Costruzioni metalliche", sempre con l'obiettivo di "indurre gli specialisti ad una comprensione non dilettantesca dei problemi estetici e gli architetti ad una concreta conoscenza dei mezzi tecnici"23. Questa ha l'obiettivo di essere "efficace collegamento fra costruttori e architetti, fra tecnici, spesso capacissimi ma sovente privi di un aggiornato discernimento estetico, e architetti spesso tenuti artificiosamente a digiuno delle più elementari nozioni sull'impiego delle strutture d'acciaio"24. In sintesi, quasi come uno "strumento di lavoro" per i progettisti. Nella rubrica sono via via pubblicati studi sui problemi statici e costruttivi, pareri di esperti, tecnici ed economisti, recensioni di libri e riviste sul tema25. Pagano si impegna notevolmente su questi argomenti sottolineando che esistono "casi nei quali la struttura metallica si rende indispensabile per ragioni tecniche, statiche od anche economiche, all'infuori di speciali apprezzamenti estetici. In questi casi il ferro deve essere usato nel modo più razionale, con il minimo spreco"26. Temi, questi, che sono ribaditi nei contributi allo studio dei sistemi costruttivi in acciaio che compaiono numerosi nella rubrica, destinata a rimanere attiva fino al febbraio 1940, ma anche nelle pubblicazioni a carattere prevalentemente tecnico, come ad esempio nei testi pubblicati dalla Hoepli nel corso del terzo decennio del secolo. Ma, nonostante gli sforzi di Pagano e di "Casabella", la struttura metallica, che negli anni Trenta era riuscita appena ad affermarsi come un nuovo strumento linguistico, in questa fase è completamente esclusa dal mondo della produzione edilizia, non solo in base a considerazioni estetiche o costruttive ma anche a necessità più prettamente economiche. Le già sporadiche realizzazioni si interrompono completamente. Le uniche eccezioni sono parti di edifici, nelle quali l'acciaio viene impiegato per risolvere il problema delle grandi luci, in opere di alta rappresentatività. L'esempio più emblematico riguarda la grande crociera metallica del Palazzo dei Congressi a Roma di Adalberto Libera (Fig. 20). Per quanto riguarda gli impieghi non strutturali, invece, la non disponibilità di materiale ferroso viene compensata dallo sviluppo delle leghe leggere, che sembrano poter sostituire l'acciaio in molte applicazioni, soprattutto nei serramenti. Nel periodo di massima pressione della politica autarchica si arriva al recupero delle parti in ferro negli edifici esistenti (cancellate, ringhiere, etc) in vista di un loro reimpiego.

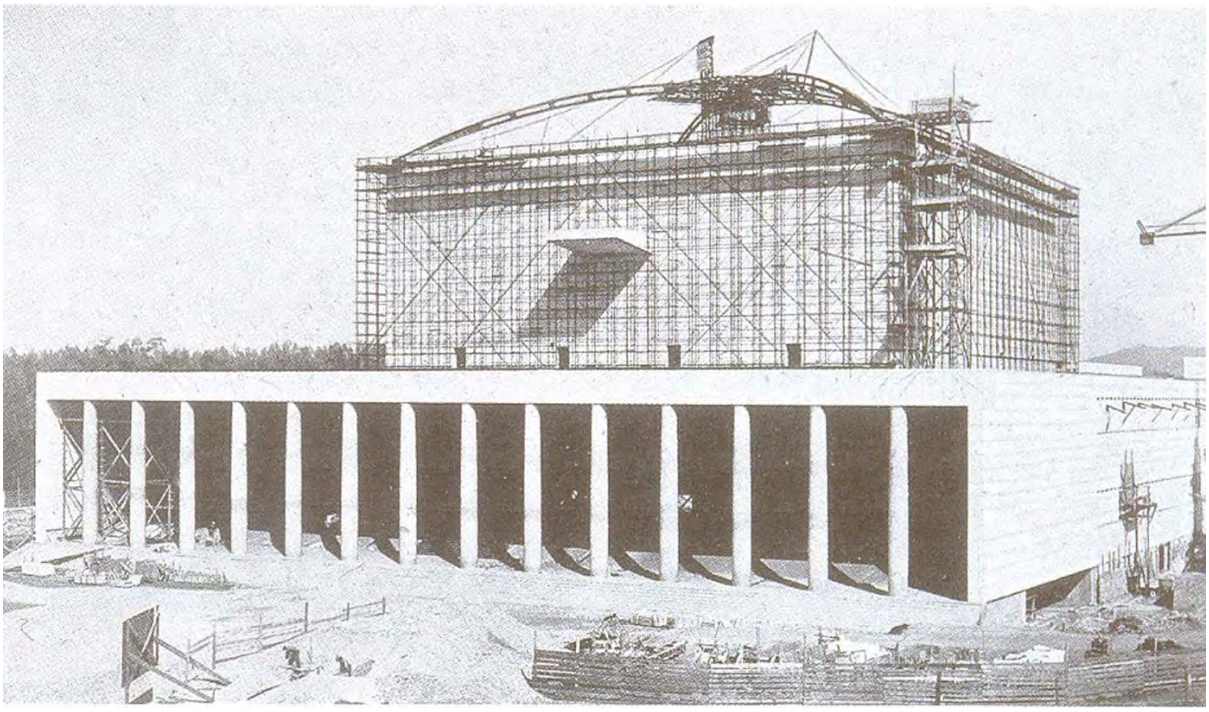


Fig. 20: Il Palazzo dei Congressi a Roma. A. Libera. 1940. Immagine di cantiere.

Questo clima spinge a ripiegare su soluzioni costruttive più tradizionali rinunciando alle innovazioni strutturali e linguistiche introdotte negli anni precedenti.

L'acciaio nell'architettura italiana del dopoguerra

L'ACCIAIO NEL DIBATTITO SULLE TECNICHE PER LA RICOSTRUZIONE

Al termine del secondo conflitto mondiale in Italia, negli anni della ricostruzione, allo sviluppo dell'industria in tutti i campi e soprattutto in quello della meccanica, fa riscontro nell'edilizia la persistenza del cemento armato, il quale prosegue quel processo di diffusione nel campo delle costruzioni innescato agli inizi del secolo.
Gli studi di personalità del calibro di Nervi e Morandi portano alla realizzazione di grandi strutture in cemento armato in cui la tecnica è integrata con soluzioni architettoniche innovative. Anche nell'edilizia residenziale, nei quartieri che si realizzano in questo periodo in tutto il territorio italiano, è l'architettura del cemento armato che mantiene il dominio.
Durante la fase della ricostruzione, pertanto, sono ancora le tecniche costruttive artigianali della tradizione moderna a prevalere. Come sottolinea Sergio Poretti: "È un modo di costruire basato sulla struttura portante a scheletro in cemento armato, la quale però non ha comportato una concezione industriale della costruzione edile, ma si è posta come versione evoluta dell'opera muraria. Il cantiere è rimasto luogo centrale della costruzione, condotta da piccole imprese con attrezzature semplici e largo impiego di mano d'opera".[27]
Parallelamente l'utilizzo dell'acciaio, che aveva caratterizzato alcune importanti costruzioni del periodo prebellico, mantiene il suo carattere episodico.
In ogni modo, la sperimentazione dell'acciaio avviata negli anni Trenta, e interrotta solo negli anni della guerra, prosegue anche in questo periodo. Si riscontrano opere come gli edifici residenziali del quartiere Prà di Genova della Italsider, unica realizzazione in acciaio all'interno del piano INA Casa, in cui si evince un tentativo di rilancio della costruzione metallica (Fig. 21).
La Comunità Europea Carbone Acciaio (CECA), inoltre, promuove una serie di studi e ricerche favorendo lo sviluppo sperimentale. Questa associazione, in Italia, trova sedi idonee per la verifica, la discussione e la diffusione dei risultati ottenuti in tre organizzazioni che, dalla metà del XX secolo in poi, riuniscono coloro che operano nel campo della costruzione in acciaio: L'Ufficio Italiano Sviluppo Applicazioni Acciaio (UISAA), che svolge attività intese a promuovere l'impiego dell'acciaio nel settore della costruzione; L'Associazione tra i Costruttori in Acciaio Italiani (ACAI), associazione di categoria, a cui si

deve la promozione e il finanziamento di molte utilissime attività di ricerca; Il Collegio dei Tecnici dell'Acciaio (CTA), associazione culturale che riunisce i tecnici, gli studiosi, i costruttori italiani per favorire lo studio di problemi afferenti la costruzione in acciaio, gli scambi culturali, la formazione dei nuovi progettisti etc. Continua anche l'opera di divulgazione. Riviste tecniche specializzate pubblicano fra il 1950 e il 1960 numerosi articoli in cui si fanno conoscere le più importanti opere prebelliche in acciaio e si invitano i progettisti alla ricerca di soluzioni nuove sia dal punto di vista tecnico che estetico. In particolare tra queste spicca la rivista, edita, dall'ACAI a partire dal 1949, "Costruzioni metalliche", che dal 1955 al 1959 cambia nome in "Acciaio e Costruzioni metalliche" per poi sdoppiarsi in "Acciaio" e "Costruzioni metalliche". I vantaggi che vengono sottolineati dai promotori della costruzione in acciaio sono la possibilità di prefabbricazione, l'elevata resistenza del materiale a flessione che permette pilastri e travi più sottili e quindi lo sfruttamento massimo del volume edificabile, la rapidità di esecuzione, la semplificazione delle operazioni in cantiere, la flessibilità planimetrica, la possibilità di modifiche ed ampliamenti, l'attrezzabilità degli impianti etc.
Verso la fine degli anni Cinquanta del secolo scorso, grazie al potenziamento del settore industriale siderurgico che, operata la riconversione dalla produzione bellica fornisce maggior quantità di acciaio, e grazie anche all'attività di queste associazioni legate alle industrie siderurgiche, si constata un notevole rilancio della costruzione metallica

Fig. 21: Il Prà Italsider di Genova. (II settennio INA Casa).1960-1961. Scorcio.

IL TENTATIVO DI RILANCIO DELLE COSTRUZIONI IN ACCIAIO NEGLI ANNI SESSANTA

A cominciare dagli anni Sessanta del secolo scorso, in Italia, grazie al potenziamento dell'industria siderurgica e sulla scia dell'intensa attività di sperimentazione e divulgazione delle strutture in acciaio, si sviluppa una maggiore coscienza delle qualità tecniche di questo materiale anche nei confronti del suo rapporto con il linguaggio architettonico. Questi cambiamenti si traducono in una serie di importanti realizzazioni, opere significative a firma di progettisti affermati, che riguardano vari tipi edilizi, dai luoghi di lavoro agli edifici per il commercio, ai complessi residenziali.
In particolare si sviluppano due filoni di ricerca applicata. Il primo, in cui è forte il riferimento al linguaggio internazionale, è indirizzato sullo studio e lo sviluppo del curtain wall, da tempo considerato come elemento tipico della modernità; il secondo, invece, persegue il tentativo di portare avanti una linea tutta italiana, caratterizzata dalla tendenza ad esaltare le potenzialità espressive dello scheletro strutturale in acciaio nell'ambito di un'apparecchiatura costruttiva eterogenea.
In Italia, diversamente dal quadro internazionale in cui l'architettura del curtain wall rappresenta una delle linee di sviluppo della costruzione moderna, il tema della facciata continua è il risultato di una evoluzione prevalentemente tecnologica dell'infisso metallico.
Intorno agli anni Venti del secolo scorso, infatti, a causa della sempre maggiore carenza del materiale ligneo di buona qualità e l'aumento dei costi della mano d'opera specializzata, si comincia a sentire la necessità di sperimentare nuovi sistemi per risolvere il tema delle grandi pareti vetrate. Ma soltanto a partire dagli anni Sessanta il curtain wall diventa per i progettisti italiani una tecnologia con caratteri specifici e conseguentemente un ambito linguistico ben delineato. L'applicazione di questo sistema trova spazio, in special modo, nell'edilizia per uffici. A Roma, in particolare, oltre al Centro Direzionale ENI (1960-1962) (Fig. 22) di Marco Bacigalupo e Ugo Ratti, che rappresenta forse l'intervento più emblematico per questa soluzione (oltre ad essere il maggiore edificio in acciaio costruito in Italia), sorgono una serie di opere esemplari. Nella sede ESSO all'Eur, Luigi Moretti (1961-1965) (Fig. 23) realizza un involucro segnato da elementi sporgenti che disegnano una fitta trama. Ci sono, poi, numerosi esempi di minor rilievo, ma significativi al tempo stesso, tra cui il centro direzionale Rai (1961-1965) (Fig. 24) e il complesso INA (1961) (Fig. 25).

Fig. 22: Il Centro Direzionale ENI. M. Bacigalupo, U. Ratti. 1960-1962.

Fig. 23: La sede della ESSO. L. Moretti. 1961-1965.

Fig. 24: Il centro direzionale Rai. F. Berarducci, A. Fioroni. 1961-1965.

Fig. 25: Il complesso INA. V. Ventura.1961.

A questi edifici, dove sono in acciaio sia la struttura principale che quella di facciata, se ne affiancano altri, come il palazzo per uffici in via Torino di Adalberto Libera (1956-1958) e il grattacielo Pirelli a Milano di Gio Ponti (1955-1960), in cui l'ossatura portante dell'edificio è in cemento armato e le facciate sono risolte con curtain wall di metallo e vetro.
Nell'altra linea di ricerca, più vicina al realismo costruttivo[28] che in questi anni caratterizza soprattutto le opere in cemento armato, la particolarità consiste nell'impiego della struttura metallica all'interno di un'apparecchiatura costruttiva eterogenea e variegata.
In analogia con le più diffuse opere in cemento armato la composizione degli elementi costruttivi, lasciati in evidenza, definisce il linguaggio architettonico, arrivando ad assumere, in alcuni casi, i caratteri di un vero e proprio espressionismo strutturale.
Di questa linea gli esempi più significativi si trovano in opere come la Rinascente a Roma di Franco Albini e Franca Helg (1957-1961) (Fig. 26) o la Sede dell'ADISU (ex ORUR-CUS) di Enrico Mandolesi a Roma (1967) (Fig. 27), l'edificio per uffici in piazza Meda a Milano dei BBPR (1969) (Fig. 28).

Fig. 26: I magazzini La Rinascente a Roma. F. Albini e F. Helg. 1957-1961. Vista d'insieme, prospetto su piazza Fiume e sezione longitudinale.

Fig. 27: La Sede dell'ADISU a Roma. E. Mandolesi. 1967. Vista d'insieme.

Fig. 28: Edificio per uffici in piazza Meda aMilano. BBPR. 1969. Vista d'insieme.

L'ACCIAIO E L'INDUSTRIALIZZAZIONE DELL'EDILIZIA NEGLI ANNI SESSANTA E SETTANTA

Già negli anni della ricostruzione gli autori dei manuali, pubblicati tra il 1946 e il 1948, mostrano interesse verso nuovi criteri di progettazione basati sui temi della normalizzazione. Sia nel "Manuale

dell'Architetto" di Mario Ridolfi, come ne "Il problema sociale costruttivo ed economico dell'abitazione" di Irenio Diotallevi e Franco Marescotti si trovano esplicitati questi temi. Il primo indirizza verso interventi basati su criteri di standardizzazione, unificazione e tipizzazione. Nel secondo ci sono quattro capitoli specifici dedicati a "cellule tipo", "unificazione", "modulazione" e "prefabbricazione e industrializzazione".
Maggiori sviluppi, poi si hanno agli inizi degli anni Sessanta del secolo scorso, periodo in cui si innesca la sperimentazione di tecnologie costruttive standardizzate basate su ossature a scheletro indipendente in acciaio o cemento armato precompresso e chiusure realizzate con sistemi leggeri di pannellature[29].
In Italia questi sistemi, che in altri paesi erano stati adottati già a partire dal dopoguerra[30], vengono prodotti in alcune industrie specializzate come la Feal di Milano - che nel 1959 riceve il compasso d'oro per la produzione della finestra a saliscendi -, la Secco, la Leonori etc., e trovano largo impiego prevalentemente nell'edilizia scolastica.
Nel frattempo, a Bologna, viene inaugurato - nel 1965 - il primo Saie (Salone internazionale dell'industrializzazione edilizia), nel quale emerge la necessità di una totale ridefinizione dell'intero processo edilizio. Anche a seguito degli esiti poco convincenti della prefabbricazione, trova, dunque, largo consenso l'ipotesi dell'industrializzazione intesa come strumento operativo per una svolta radicale della ricerca edilizia[31].
Le motivazioni di questi cambiamenti, nel campo delle costruzioni, vanno ricercate, inoltre, nella situazione sociale in cui si trova l'Italia al termine degli anni Sessanta; un periodo caratterizzato dall'esplosione demografica con il conseguente fabbisogno di edifici di ogni genere, dalle abitazioni, alle scuole, agli ospedali etc. I procedimenti tradizionali sembrano incapaci di rispondere ad una domanda di questa ampiezza mentre l'industrializzazione, permettendo la necessaria economia di mano d'opera, grazie anche allo spostamento della maggior parte del lavoro dal cantiere all'officina, sembra in Italia lo strumento più idoneo per poter risolvere queste problematiche. Gli elementi singoli della costruzione vengono fabbricati in officina, al riparo dalle intemperie e dai rischi del cantiere e con criteri di automazione del lavoro. Sul cantiere, dove i vari elementi vengono trasportati con facilità, ha luogo esclusivamente il montaggio che può essere realizzato secondo procedimenti di tipo industriale. L'acciaio, che comunque non è il solo materiale oggetto di sperimentazione e applicazione dei principi dell'industrializzazione, svolge un ruolo preminente, non soltanto per l'ossatura portante, ma anche per la maggior parte degli elementi costituenti l'organismo edilizio. La costanza delle sue caratteristiche, ottenute mediante ripetuti controlli, inoltre, permette una lavorazione precisa con margine di errore minimo e rispondente a tutte le possibili esigenze in fatto di tolleranze dimensionali[32].
Con queste premesse, che sono al centro del dibattito nella seconda metà degli anni Sessanta del secolo scorso, la tesi dell'industrializzazione, con particolare riferimento all'utilizzo dell'acciaio e dei materiali metallici in generale, provoca, in effetti, un incremento della ricerca sia da parte delle industrie che dei progettisti - sempre più propensi a sperimentare nuovi sistemi -, ma soprattutto in ambito accademico dove le analisi e gli studi della maggior parte degli esperti si concentrano su queste tematiche. Come ricorda Sergio Poretti: "Dal Politecnico di Milano, nel quale fin dagli anni cinquanta si era posta l'istanza della scientificità e del coordinamento su scala nazionale della ricerca edilizia, il processo di rinnovamento invade l'intera struttura accademica nazionale. Interrotti definitivamente gli studi storici e sperimentali sulle tecniche costruttive, la ricerca si incentra sulla ridefinizione di metodologie (di programmazione, di progettazione, di intervento...) adeguate alla strategia dell'industrializzazione, assumendo completa autonomia, oltre che rispetto all'ingegneria strutturale, anche rispetto ai settori della storia e della composizione architettoniche."[33]
Negli anni Sessanta e Settanta del secolo scorso vengono messi a punto molti sistemi di prefabbricazione industrializzata nei quali, ad una struttura portante d'acciaio, si uniscono materiali di vario genere - come il calcestruzzo, il laterizio, il legno, la plastica, l'alluminio - per le opere di completamento.
Si rilevano, in seguito, esempi paradigmatici anche nel settore abitativo come nell'episodio del quartiere CECA di Piombino progettato da Federico Gorio, Marcello Grisotti, Enrico Mandolesi, Achille Petrignani, per i dipendenti della Italsider (Fig. 29). Nascono, inoltre, diversi organismi tecnici specializzati, tra cui la Tecnocasa (società di ricerca per l'edilizia industrializzata). A questo primo periodo, che farebbe ipotizzare un particolare sviluppo anche in Italia - come era già accaduto all'estero - di una politica edilizia industrializzata, segue una fase nella quale viene bloccata qualsiasi iniziativa di riconversione produttiva del settore.

Fig. 29: Il quartiere CECA. a Piombino. F. Gorio, M. Grisotti, E. Mandolesi, A. Petrignani. 1963-1967. Vista d'insieme .

A partire dalla seconda metà degli anni Settanta, infatti, anche come conseguenza della crisi economica in particolare nel campo dell'edilizia, la tesi dell'industrializzazione rimane confinata in un alveo ben delimitato. L'utilizzo dell'acciaio, con metodi industrializzati, diminuisce anche in quei settori nei quali aveva trovato largo impiego. Sempre come sottolinea Poretti "[…] l'assetto della produzione edilizia muta radicalmente: l'edilizia residenziale e l'edilizia scolastica, settori sui quali ha fatto leva l'istanza della standardizzazione, subiscono una drastica riduzione; cresce l'intervento sull'edilizia esistente, che in pochi anni supererà la metà della produzione complessiva. […] All'interno dell'industria la sperimentazione ritorna agli aspetti più squisitamente tecnologici, facendo leva sull'impiego di materiali nuovi"[34].

L'EPISODICA SPERIMENTAZIONE DELL'ACCIAIO NELLE GRANDI STRUTTURE

Alla fine degli anni Cinquanta del secolo scorso il tema della grande struttura assume un'importanza decisiva e, come nell'edilizia diffusa, la linea di ricerca prevalente è quella legata all'uso del cemento armato. Nervi e Morandi sono tra coloro che, più di altri, rilanciano questo materiale nelle loro opere.
Ma nell'eccezionale panorama dell'ingegneria italiana, che assume in questi anni una rilevanza internazionale, si inseriscono anche importanti opere in acciaio.

L'occasione per sperimentare le prime grandi coperture realizzate mediante questa tecnologia, è la costruzione dell'aeroporto internazionale di Fiumicino, a Roma, avvenuta per le Olimpiadi del 1960. In questa circostanza Umberto Venanzi e Gianfranco Vannacci propongono, nei loro progetti, coperture reticolari spaziali in acciaio che rinviano allo schema statico a pensilina semplice già usato da alcuni anni e in maniera frequente negli Stati Uniti[35]. Allo stesso periodo appartengono due opere esemplari di Pier Luigi Nervi - una a Torino in occasione della realizzazione delle grandi coperture a fungo del Palazzo del Lavoro (1959) all'esposizione Italia '61 (Fig. 30) e l'altra a Mantova per la costruzione della grande copertura sospesa della Cartiera Burgo (1960-1964) (Fig. 31, 32) - nelle quali si ha un impiego diffuso dell'acciaio applicato, in maniera assolutamente inedita in edilizia, come soluzione ai problemi delle grandi luci libere[36].
All'interno di questo clima innovativo può essere iscritta anche un'opera di Sergio Musmeci che, tra il 1963 ed il 1967, in la collaborazione con Livadiotti, Stegher e Cogliati, progetta e realizza a Roma il deposito dell'Italtubi. In questo vivace panorama si inseriscono anche alcune spettacolari applicazioni dell'acciaio nel campo delle tensostrutture, che ben figurano se messe a confronto con le sperimentazioni condotte oltre i confini nazionali.

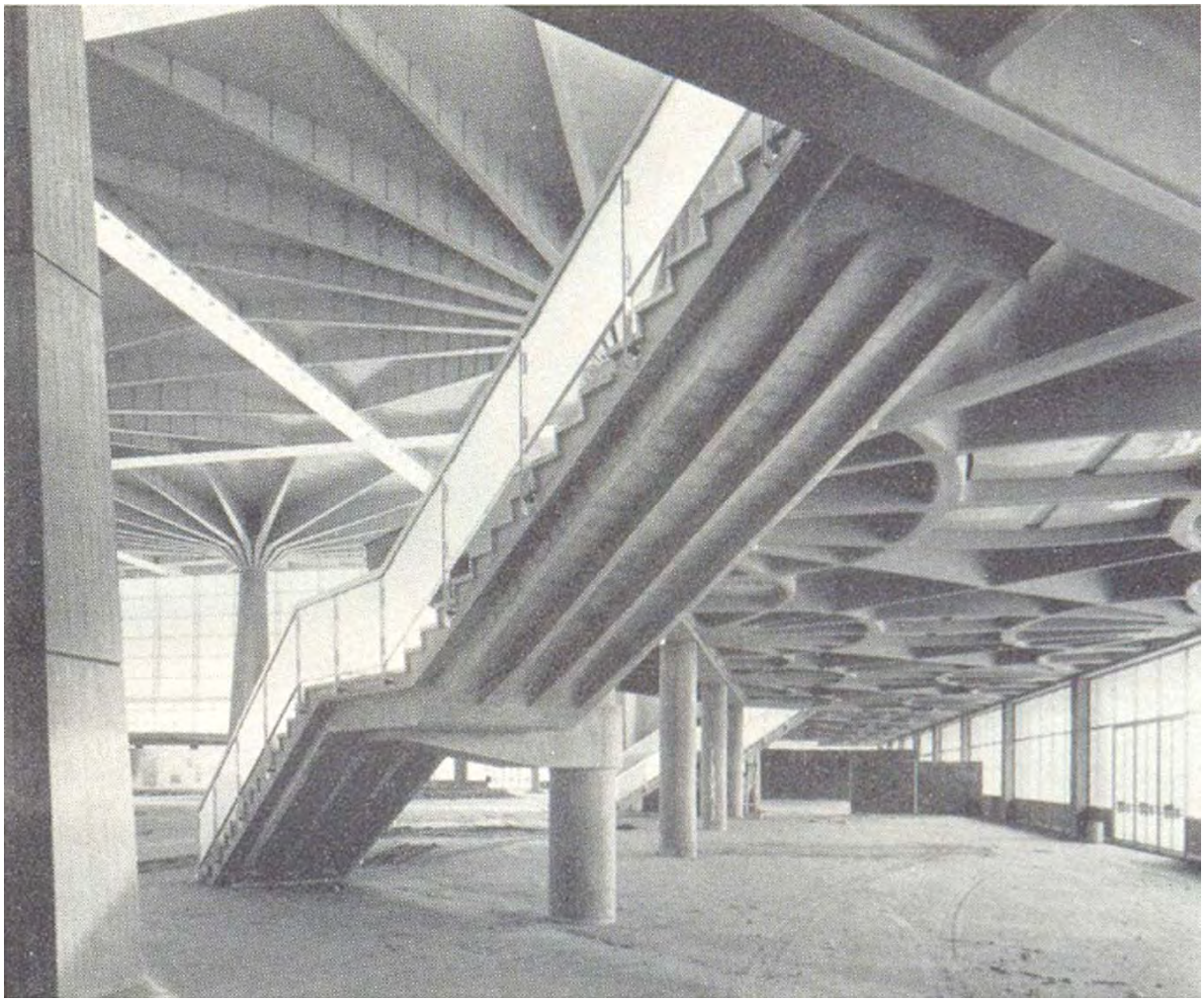


Fig. 30: Il Palazzo del Lavoro per Italia'61 a Torino. P. L. Nervi. 1959-1961. L'interno.

Tra queste la copertura del Palasport di Genova (L. Finzi, 1961-1963), uno dei primi esempi europei, ed un edificio industriale (1966-1968), sempre a Genova, tra le prime sperimentazioni in acciaio di Renzo Piano. E' nella seconda metà degli anni Sessanta, infine, che prende avvio il lungo lavoro di ricerca che Leonardo Savioli conduce all'interno della Facoltà di Architettura di Firenze e che porterà alla realizzazione del Nuovo Mercato dei fiori a Pescia (Fig. 33-35).
Tale idea progettuale, elaborata nel 1970 in collaborazione con Danilo Santi e altri, verrà concretizzata in parte soltanto undici anni più tardi. Con il mercato dei fiori di Pescia, dunque, si conclude questa ricognizione all'interno dell'architettura italiana legata alla costruzione metallica. Seguirà un periodo in cui l'acciaio risulterà quasi totalmente escluso dalla prassi progettuale e costruttiva delle strutture di grande luce che sembrano essere sempre meno patrimonio del repertorio costruttivo del moderno cantiere italiano[37].
Si riscontreranno, tuttavia, una serie di casi isolati i quali, però, sono difficilmente riconducibili alla via italiana ma più inseriti in un contesto architettonico e costruttivo che vede oltre i confini nazionali la sua giusta collocazione.

Fig. 31: La Cartiera Burgo. Mantova.P. L. Nervi. 1960-1964. Vista d'insieme.

Fig. 32: La Cartiera Burgo. Mantova.P. L. Nervi. 1960-1964. Foto di cantiere.

Fig. 33: Il Mercato dei fiori di Pescia. Pistoia. L.Savioli, D. Santi. 1970-1981. Scorcio esterno.

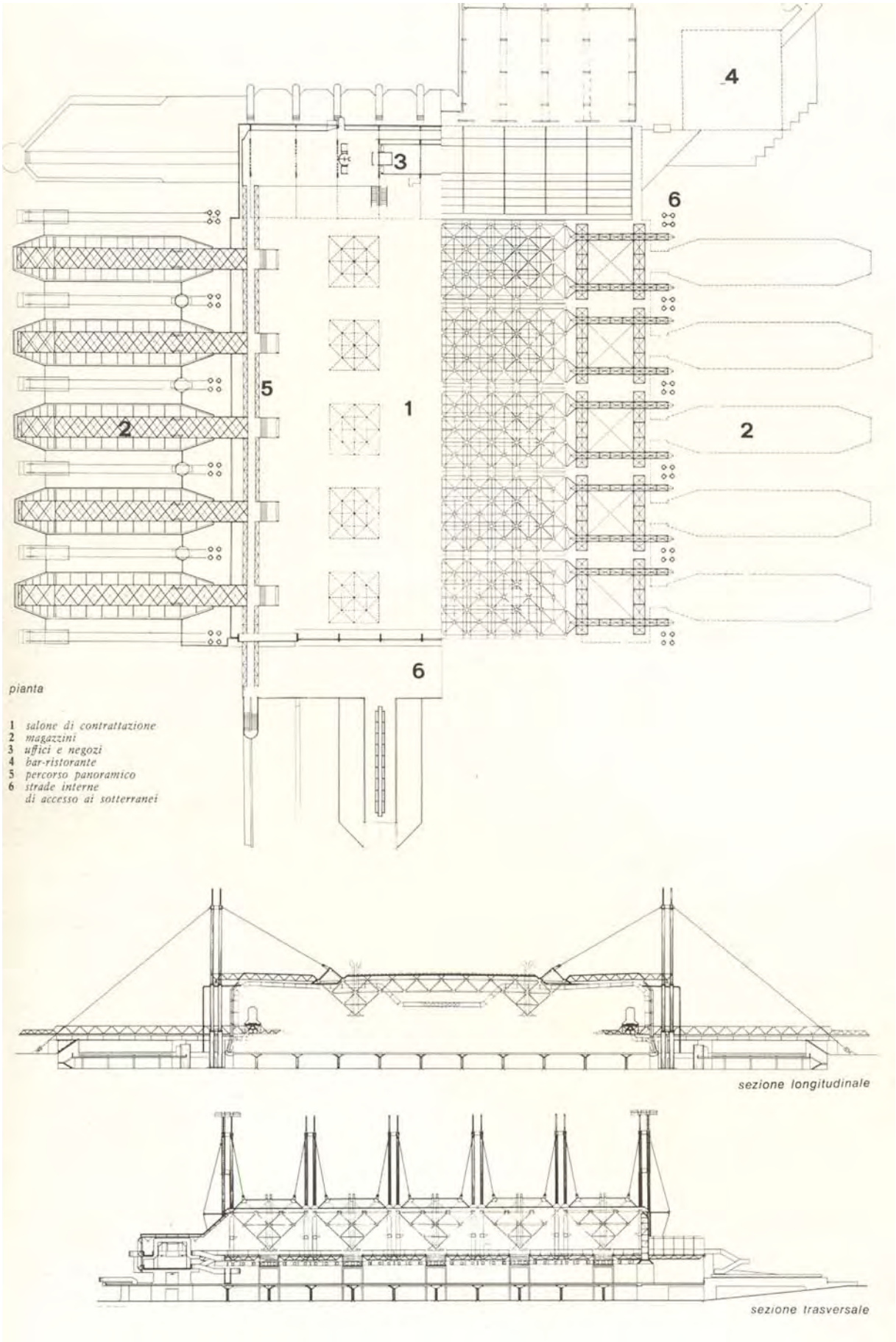


Fig. 34: Il Mercato dei fiori di Pescia. Pistoia. L.Savioli, D. Santi. 1970-1981. Pianta e sezioni.

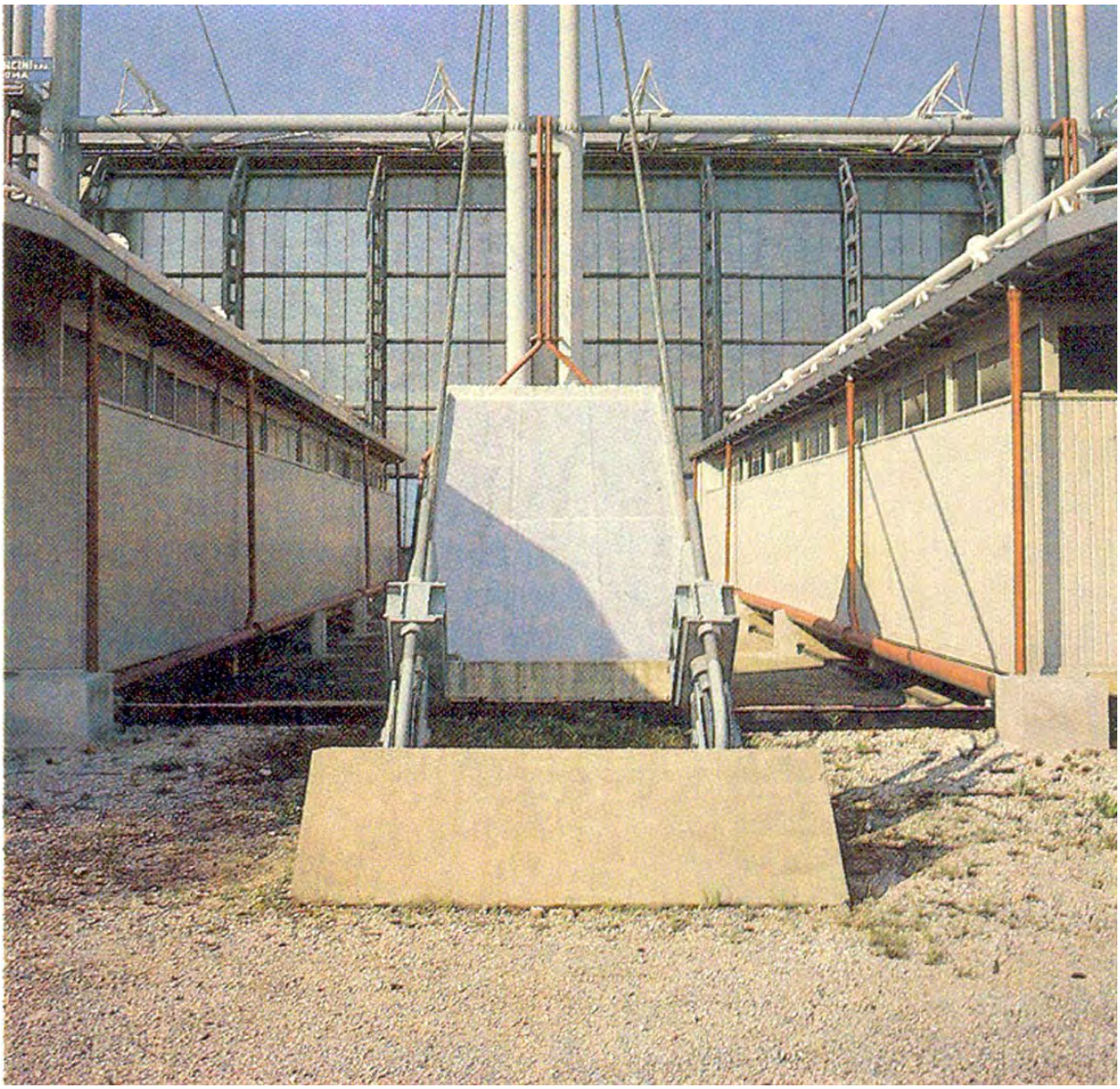


Fig. 35: Il Mercato dei fiori di Pescia. Pistoia. L.Savioli, D. Santi. 1970-1981. Nodo di ancoraggio dello strallo di rinvio.

Bibliografia

F. MASI, *La pratica delle costruzioni metalliche*, Hoepli, Milano 1931.
G. PAGANO-POGATSCHNIG, *I prodotti italiani per l'edilizia moderna*,"L'Ambrosiano", 11, 1931.
G. FIORINI, *Tensistruttura*, Bollettino Tecnico Savigliano, VI, 3-4, 1932, pp. 494-528.
E.A. GRIFFINI, *Costruzioni a struttura di acciaio*, "Rassegna di Architettura", 5, 1932.
E.A. GRIFFINI, *Costruzione Razionale della Casa*, Hoepli, Milano 1932.
G. MINUCCI, *Della costruzione dei grattacieli*, "Architettura", febbraio 1932, pp. 202-210.
G. PAGANO-POGATSCHNIG, *Il concorso Falck per i progetti di costruzioni struttura di acciaio*, "Architettura", 7, 1932.
AA.VV., *La casa degli architetti Pagano […]*, "Casabella", agosto-settembre, 1933, pp. 5-12.
Concorsi nazionali per quattro nuovi edifici postali e telegrafici a Roma, "Architettura", 4, marzo 1933, p. 200.
DODI, *Tensistrttura*, "Rassegna d'Architettura", 3, 15 marzo 1933, pp. 137-139.
G. FIORINI, *Lettera a Quadrante*, "Quadrante", 4, 1933, pp. 46-48.
G. FIORINI, *L'inventore Le Corbusier poeta-architetto della presente civiltà macchinista*, "Architettura", XII, fase. VI, 1933, pp. 357-372.
G. FIORINI, *Tensistruttura*, in "Annali del Sindacato Provinciale Fascista Ingegneri di Roma", XXVI, 2, 1933.
L'applicazione dell'acciaio nelle costruzioni edilizie al IV convegno dei Tecnici Metallurgici, Rassegna di Architettura, 1933, pp. 452-455.
RED., *La Sede della Reale Mutua di Assicurazione a Torino*, "Casabella", agosto-settembre 1933, p. 63.
F. T. MARINETTI, *Lettera aperta di S. E. Marinetti all'architetto futurista Guido Fiorini inventore della Tensistruttura* , "Futurismo", Il, 21, 29 gennaio 1933.
F. MASI, *Case in acciaio*, Milano 1933.
F. MASI, *Economia delle costruzioni a struttura di acciaio*, "Casabella", agosto-settembre 1933, pp. 70-73.
G. MINNUCCI, *Il concorso nazionale per i palazzi postali di Roma*, "Architettura", X, ottobre 1933, pp. 603-626.
G. PAGANO, G. PALANTI, E. PERSICO, *Programma 1934*, "Casabella", 4, 1933, pp. 2-3.
G. PAGANO - POGATSCHNIG, *L'estetica delle costruzioni in acciaio*, relazione al Convegno dei Tecnici Metallurgici Italiani, "Casabella", 8-9, 1933, pp. 66-69.
RED., *La casa a struttura di acciaio*, "Casabella", agosto-settembre 1933.
RED., *La casa a struttura di acciaio*, "Domus", 69, 1933, pp. 474-477.
RED., *La torre littoria*, "Casabella", 8-9, 1933, pp. 18-20.
TENNERONI, *Tensistruttura applicata*, "Futurismo", Il, 6, 5 marzo 1933, rist. in S'Elia, I, 5, 3 dicembre 1933.
V Triennale 1933. *Catalogo ufficiale*, Milano 1933, pp. 663-668.
I. BARTOLI, *Sull'impiego dell'acciaio*, "Quadrante, dicembre", 1934, pp. 25-27.
Discussione sulla Tensistruttura Fiorini, "Casabella", VII, 78, 1934, pp. 4-5.
G. FIORINI, *Progetto di aeroporto civile*, "Casabella", VII, 80, 1934, pp. 32-35, rist. in Stile futurista , I, 3, 1934, p. 16.
G. FIORINI, *(Tensistruttura) Progetto di casa di abitazione in serie /Progetto di casa in serie per scapoli*, "Quadrante", 9, 1934, pp. 17-18.
G. FIORINI, *Tensistruttura*, "Bollettino Tecnico Savigliano", gennaio-febbraio 1934, pp. 662-675.
G. FIORINI, *Tensistruttura 1934*, "Casabella" , VII, 74, 1934, pp. 4-7.
E.A. GRIFFINI, *Dizionario nuovi materiali per edilizia*, Hoepli, Milano 1934.
Infissi metallici, "Casabella", 81, 1934.
F, T. MARINETTI, *L'architetto futurista Fiorini*, "Stile futurista", I, 3, 1934, p. 15.
F. MASI, *Estetica delle costruzioni metalliche*, "Casabella", luglio1934.
F. MASI, *Osservazioni sulla Tensistruttura dell'architetto Fiorini*, "Casabella", 76, 1934, pp. 6-7.
G. MOLTENI, *La saldatura nelle costruzioni in acciaio*, "Casabella", luglio 1934, pp. 74- 77.
G. PAGANO-POGATSCHNIG, I. BERTOUNI, G. FIORLN, G. VICENZI (a cura di), *Repertorio 1934 dei materiali per l'edilizia e l'arredamento*, Editoriale Domus, Milano 1934.
S. TANZIANI*, Notizie sui materiali dell'edilizia*, "Casabella", novembre 1934.
G. GAGLIARDI, *L'impiego dei materiali tradizionali nell'edilizia*, "Edilizia Moderna", 18, 1935, pp. 44-47.
F. MASI, *Una casa a scheletro metallico*, "Edilizia moderna", 18, 1935. "Quadrante", 21, gennaio 1935, p. 24.

RED., *Carattere di un nuovo edificio*, “Domus”, 90, giugno 1935, pp. 8-11.
Atti del sindacato fascista degli ingegneri di Milano, Milano, luglio 1936. “Casabella”, 104, agosto 1936.
Due tipi di vetrate scorrevoli, “Casabella”, 98, 1936, pp. 20-31.
F. FARINELLO, *Casa Feltrinelli in via Manin a Milano*, “Architettura”, 5, maggio 1937, 265- 270.
E. TEDESCHI, *La mostra dei sistemi costruttivi moderni e dei materiali da costruzione alla VI Triennale di Milano*, “Architettura”, gennaio 1937, pp. 41-51.
I. BARTOLI, *L’impiego dell’acciaio nelle costruzioni edilizie*, “Casabella”, 132, 1938, p. 45.
Concorso per il Palazzo dei Ricevimenti e dei Congressi, “Architettura”, fascicolo speciale, dicembre 1938, pp. 829-848.
R. EINAUDI*, L’autarchia nelle costruzioni*, “Costruzioni Casabella”, agosto, 1938.
S. GANDOLFI, *Impiego del ferro in edilizia e autarchia*, “Costruzioni Casabella”, agosto, 1938.
G. PAGANO, *Presentazione*, “Casabella Costruzioni”, 124, 1938, pp. 42-43.
Palazzo delle Feste, dei Congressi e Ricevimenti, “Architettura”, fascicolo speciale, dicembre 1938, pp. 784-786.
F. CAMPALDI, *La letteratura tecnica italiana nel campo delle costruzioni metalliche*, “Casabella Costruzioni”, 133, 1939, pp. 44-45.
Costruzioni metalliche. Consensi alla nostra iniziativa, “Casabella Costruzioni”, 133, 1939, pp. 34-35.
R. EINAUDI, *Lo standard nel settore delle costruzioni edili*, “Casabella Costruzioni”, 136, 1939.
L'Esposizione universale 1942 fulcro dell'espansione di Roma al mare. Stato dei lavori, “Architettura”, fascicolo speciale, dicembre 1939, p. 49.
G. Pagano, *Architettura e costruzione*, “Casabella Costruzioni”, 134, 1939, pp. 34-35.

E. GIOVANETTI, *Il Palazzo dei Ricevimenti e Congressi*, “Civiltà”, 2, 1940, pp. 57-64.
A. PICA, *Architettura moderna in Italia*, Milano Hoepli, 1941, pp. 87-88, 463.
G. PAGANO, *Presupposti per un programma di politica edilizia*, “Costruzioni Casabella”, giugno, 1943.
A. M. TALANTI, *Storia dell’Industrializzazione edilizia in Italia 1945-1974*, vol. I, II, A. I. P.
C. N. R. (a cura di), *Manuale dell’architetto*, Roma 1946.

P. BOTTONI, *Edifici moderni in Milano*, 1954.
R. BUCCHI, *Le costruzioni metalliche nell’architettura contemporanea*, “Acciaio e Costruzioni metalliche”, 2, 1957.
RED., *Magazzini La Rinascente a Roma*, “Casabella”, 223, gennaio 1959, (primo progetto), pp. 27-33.

RED., *Progetto per un grande magazzino a Roma*, “Casabella”, 241, luglio 1960, pp. 18-25.
RED., *Venti anni fa*, “Architettura. Cronache e storia”, 53-54, 1960, pp. 770, 844.
G. VANNACCI, U. VENANZI , *Aviorimessa per l’aeroporto intercontinentale di Roma-Fiumicino*, “Acciaio”, 5, 1960, pp. 587-591.
E. N. ROGERS., *Un grande magazzino a Roma*, “Casabella”, 257, novembre 1961, pp. 2-13, 65-78.
G. BORRELLO, *Un impiego di edilizia popolare realizzato con largo impiego di acciaio*, “Acciaio”, 12, 1961, pp. 671-680.
Dentro l’immane struttura, “Domus”, 374, 1961.
P. PORTOGHESI, *La Rinascente in piazza Fiume a Roma*, “Architettura. Cronache e storia”, 75, gennaio 1962, pp. 602-618.
F. ATKINSON, *La Rinascente Store, Rome*, “The Architectural review”, 778, ottobre, 1962, pp. 269-274.
RED*., La sede de La Rinascente in piazza Fiume a Roma*, “Domus”, 389, aprile 1962, pp. 1-20; 57-72.
L. FINZI, E. NOVA, *Il Centro Direzionale Eni all’EUR di Roma*, “Acciaio”, 2, 1962, pp. 5-12.
E. MANDOLESI, *Edifici torricolari in acciaio tre recenti realizzazioni*, in Quaderni dell’istituto di architettura università di Cagliari facoltà di ingegneria 1, Fratelli Palombi, Roma 1962.
G. COVRE, *Il nuovo edificio in acciaio de “La Rinascente” a Roma*, “Acciaio”, 1,1963, pp. 1-5.
G. COVRE, *Il Padiglione della Cartiera Burgo S.P.A. a Mantova*, “Costruzioni metalliche”, 3, 1963, pp. 147-157.
P.L. NERVI, *Nuove strutture*, Edizioni di Comunità, Milano 1963, pp. 118-135.
RED., *Uffici Eni a Roma*, “Edilizia Moderna”, 79, 1963, pp. 17-28.
G. DE MICHELI, *Aspetti tecnici nelle applicazioni del Curtain Wall*, Arte della stampa, Roma 1965.
E. MANDOLESI, *Tamponatura per ossature in acciaio con applicazione di elementi composti in laterizio*, VIII congresso nazionale andil, Lido di Venezia, 30 maggio - 1 giugno 1965.
A. ALIERI, CLERICI M., PALPACELLI F., VACCARO G., *Adalberto Libera (1903-1963)*, “L'Archi-

tettura, Cronache e Storia", 125, marzo 1966, p. 762.
ITALSIDER (a cura di), *L'acciaio nell'edilizia moderna*, Istituto grafico Bertello, Genova 1966.
E. MANDOLESI, Il *ruolo della struttura d'acciaio tra i componenti della moderna costruzione edilizia*, IX congresso nazionale edilizia e abitare "agere", Taranto,5-9 giugno 1966.
C. AYMERICH, *Applicazioni del laterizio nelle costruzioni ad ossatura in acciaio*, "Costruire" 42, settembre-ottobre 1967.
L. BENEVOLO, *L'organismo architettonico e l'industrializzazione: L'esperienza del quartiere fieristico di Bologna*, in Ciclo di conferenze sui problemi dell'industrializzazione edilizia, Cagliari 1967.
L. CHARVET, *Industrializzazione edilizia*, "Acciaio", 9, 1967, pp. 381-382.
G. COLELLA, *Per una industrializzazione delle costruzioni metalliche*, "Acciaio", 5, 1967, pp. 220-226.
Corso di perfezionamento nella progettazione di strutture in acciaio 1967, "Acciaio", 1, 1967, p. 45.
G. DE MARTINO, *La prefabbricazione industrializzata in acciaio, ciclo di conferenze sui problemi dell'industrializzazione edilizia*, Cagliari 1967.
Edilizia industrializzata in acciaio a Bologna, "Acciaio", 9, 1967, pp. 429-430.
L. FINZI, *Sullo stato attuale e sul futuro della costruzione in acciaio in Italia*, "Acciaio", 3, 1967, pp. 145-148.
A. GALARDI, *Architettura italiana contemporanea:1955-1965*, Edizioni di comunità, Milano 1967.
L'acciaio, l'alluminio ed il vetro al servizio dell'edilizia scolastica, "Acciaio", 3, 1967, pp. 152-155.
M. MANIERI ELIA, *L'edilizia del curtain wall: la sua genesi e il suo significato culturale, ciclo di conferenze sui problemi dell'industrializzazione edilizia*, Cagliari 1967.
E. MANDOLESI, *Utilizzazione dell'acciaio nell'edilizia*," L'ingegnere", 6, 1968.
Sistemi di prefabbricazione edilizia industrializzata, "Acciaio", 5, 1968.
E. MANDOLESI, *Componenti in acciaio per l'edilizia industrializzata,relazione tenuta al convegno "edilizia industrializzata con strutture leggere in acciaio"* V° SAIE, UISAA, Bologna 1969.
F. MASI, *Divagazioni linguistiche sul ferro*, "Acciaio", 10, 1969.

MAGENTA G., *Lavorazione in officina italsider*, Tamburini, Milano 1970.
P. VITIELLO, G. PIETRAPIANA, *Case per lavoratori realizzate con struttura in acciaio in corso di costruzione a Piombino*,"Acciaio", 9, 1970, pp. 429-434.
ITALSIDER (a cura di), *Acciaio e materiali complementari*, F.lli Pagano, Genova 1971.
G. FIORINI, *La Tensistruttura grande invenzione futurista*, "Futurismo", II, 20, 22 gennaio 1933, rist. in L. PATETTA, *L'architettura in Italia. 1919-1943 Le polemiche*, Milano 1972, pp. 263-266.
E. MANDOLESI, *Studio e ricerca per l'inserimento delle strutture e degli elementi costruttivi in acciaio nel processo dell'industrializzazione edilizia a ciclo aperto*, Leberit, Roma 1972.
R. JODICE, G. ROISECCO, V. VANNELLI, *L'architettura del ferro. L'Inghilterra (1688-1914)*, Bulzoni, Roma 1972.
E. MANDOLESI, *Relazione sul tema:L'acciaio nelle realizzazioni dell'edilizia sociale*, in Quaderni dell'istituto di architettura università di Cagliari facoltà di ingegneria 26, Eliograf 1973.
R. JODICE, G. ROISECCO, V. VANNELLI, *L'architettura del ferro. La Francia (1715-1914)*, Bulzoni, Roma 1973.
A. STAZI, *La sede dell'ORUR-CUS a Roma*, "L'industria delle costruzioni", 43, sett.-ott. 1974, pp. 3-18.
B. REGNI, M. SENNATO, *La sede dell'ORUR*, "Capitolium", 2-3, 1974, pp. 79-81.
A. STAZI, *Quartiere C.E.C.A. a Piombino*, "L'industria delle costruzioni", 45, gen.-feb.1974, pp. 3-18.
G. ALISIO, *Aspetti della cultura architettonica dell'800 a Napoli: la gallerie in ferro* , Architettura. Cronache e storia, 237, luglio 1975.
A. R. LAMB, *Concezione e prova di una struttura semplice e leggera per una serie di scuole materne (Gran Bretagna)*, "Acciaio", 11, 1975, pp. 446-450.
E. PASQUALI, *Complesso scolastico a Milano*, "Acciaio", 11, 1975, pp. 440-445.
S. DANESI, L. PATETTA, (a cura di), *Il razionalismo e l'architettura in Italia durante il fascismo*, Electa, Milano 1976, pp. 131, 142
C. DE SETA, G. PAGANO, *Architettura e città durante il fascismo*, Bari 1976.
J. GORDON, *La scienza dei materiali resistenti*, Mondadori, Milano 1976.
S. DANESI, L. PATETTA, (a cura di), *Il razionalismo,* Milano 1976.
V. GREGOTTI, *Milano e la cultura architettonica tra le due guerre,* in S. DANESI, L. PATETIA, (a cura di), Il razionalismo e l'architettura in Italia durante il fascimo, Venezia 1976, p. 20.
Morteo Soprefin all'INTEL 1976, "Acciaio", 4, 1976.
M. TAFURI, F. DAL CO, *Architettura contemporanea*, Electa, Milano 1976.
A. MONDINI, *Storia delle tecniche*, Torino 1977.
E. MANDOLESI, *Edilizia, vol. I-II-III-IV*, Utet, Torino 1978-1983-1991.

A. PETRIGNANI,*Tecnologie dell'architettura*, Gorlich, Roma 1978.
G. DALLAI, *Copertura del salone delle contrattazioni del centro di commercializzazioni dei fiori di Pescia*, "Costruzioni Metalliche", 5, sett.-ott. 1979, pp. 237-241.

V. CASTRONOVO, *L'industria italiana dall'800 ad oggi*, Mondadori 1980.
R. DE FUSCO, *L'architettura dell'800*, Utet, Torino 1980.
V. GANDOLFI, *L'acciaio nell'architettura*, Arti grafiche Stefano Pinelli, Milano 1980.
G. PIZZETTI, A.M. ZORGNO, *Principi statici e forme strutturali*, Torino 1980.
M. TAFURI, *Gli anni dell'attesa: 1922-1945*, in AA.W., Giuseppe Samonà. Cinquant'anni di architetture, Officina, Roma 1980, pp. 9, 55.
E. BENVENUTO, *La scienza delle costruzioni nel suo sviluppo storico*, Firenze 1981.
C. DE SETA, *L'architettura del Novecento* , Utet , Torino 1981.
G. GALLIANI, *Effetti della rivoluzione indusriale sul costruire*, Ecig, Genova 1981.
F. GUERRIERI, *Nuovo mercato dei fiori a Pescia*, "Architettura. Cronache e storia", 310-311, 1981, pp. 454-465.
PESENTI C., NUSINER L., *Copertura del salone delle contrattazioni del centro di commercializzazioni dei fiori di Pescia*," Acciaio", 1, gennaio 1981, pp. 7-10.
E. BENVENUTO, *La teoria delle strutture, nel periodo di maggiore influenza delle costruzioni metalliche 1850-1880*, in V. Nascè (a cura di), Contributi alla storia della costruzione metallica, Alinea, Firenze 1982, pp. 113-148.
F. BRUNETTI, *Leonardo Savioli*, Bari 1982.
G. CIUCCI, *Il dibattito sull'architettura e le città fasciste, in Storia dell'arte italiana*, Il Novecento, voI. III, Torino 1982, pp. 348, 353-354.
L. FIORI, M. PRIZZON (a cura di), Albini-Helg, *La Rinascente*, Abitare, Milano 1982.
F. MASI, *L'industria italiana delle costruzioni metalliche fra le due guerre*, in V. Nascè (a cura di), Storia della costruzione metallica, Alinea, Firenze 1982, pp. 165-178.
V. NASCÈ (a cura di), *Contributi alla Storia della costruzione metallica*, Alinea, Firenze 1982.
E. RAPPINI, *L'evoluzione del materiale e dei processi siderurgici dalla ghisa al ferro, all'acciaio*, in V. Nascè (a cura di), *Contributi alla Storia della costruzione metallica*, Alinea, Firenze 1982, pp. 85-113.
A.M. ZORGNO, *I ponti metallici nello sviluppo della rete ferroviaria italiana del XIX secolo*, in V. Nascè (a cura di), Contributi alla storia della costruzione metallica, Alinea, Firenze 1982, p 179-215.
M. DE GIORGI, R. POLETTI, *Industrializzazione edilizia fra le due guerre e nel periodo della ricostruzione*, in A. CASTELLANO, O. SELVAFOLTA (a cura di), Costruire in Lombardia, Aspetti e problemi di storia edilizia, Electa, Milano 1983.
C. DE SETA, *La cultura architettonica in Italia tra le due guerre*, Bari 1983.
P. DESIDERI, P. L. NERVI JR, G. POSITANO , *Pier Luigi Nervi*, Zanichelli, Bologna 1983.
O. SELVAFOLTA, *La Galleria Vittorio Emanuele II*, in A. Castellano, O. Selvafolta (a cura di), Costruire in Lombardia, Aspetti e problemi di storia edilizia, Electa, Milano 1983.
P. G. BARDELLI, *Restauro o manutenzione. Una esperienza singolare in Torino*, "Recuperare", anno III, luglio-agosto 1984, pp. 339-343.
M. CASCIATO (a cura di), *Diotallevi, Il problema sociale costruttivo ed economico dell'abitazione*, 1984.
A. GABBA, *Il Ponte in ferro sul Po alla Becca presso Pavia*, in A. Castellano, O. Selvafolta (a cura di), Costruire in Lombardia, Aspetti e problemi di storia edilizia, Electa, Milano 1984.
P.O. ROSSI, *Roma. Guida dell'architettura moderna 1909-1984*, Roma - Bari 1984, pp. 79-80
L. ZORDAN, *Apparecchiature costruttive reticolari*, Colacchi editore, L'Aquila 1984.
A. BELLUZZI, C. CONFORTI, *Guida all'architettura moderna italiana 1944-1984*, Laterza, Bari 1985.
R. JODICE, *L'architettura del ferro. L'Italia, 1796-1914*, Bulzoni, Roma 1985.
R. MORGANTI, *Il mercato dei fiori a Pescia, Pistoia*, "L'industria delle costruzioni", 169, novembre 1985, pp. 16-28.
F. BRUNETTI, *L'architettura in Italia negli anni della ricostruzione*, Alinea, Firenze 1986.
M. CALVESI, E. GUIDONI, S. LUX (a cura di), *E42. Utopia e scenario del regime*,vol. II, Urbanistica, architettura, arte e decorazione, Marsilio, Venezia 1987, pp. 320-351.
IRACE F., RENZO ZAVANELLA: *le inquietudini della razionalità*, "Ottagono", 85, 1987, pp. 64-74.
A.M. ZORGNO, *La materia e il costruito*, Alinea, Firenze 1988.
A.M. ZORGNO, *Guido Fiorini e le Officine di Savigliano*, "Casabella", 549, settembre 1988.
A.M. ZORGNO (a cura di), *Fiorini - Le Corbusier 1931-35*, Torino 1988.
AA. VV., *Adalberto Libera. Opera completa*, Electa, Milano 1989, pp. 147-149.
G. CIUCCI, *Gli architetti ed il Fascismo*, Torino 1989.
F. GAROFALO, L. VERESANI, *Adalberto Libera*, Zanichelli, Bologna 1989.

V. NASCÈ (a cura di), *Il ponte di Paderno*, Electa, Milano 1989, pp. 17-21; 61-65.

G. MURATORE, S. LUX (a cura di), *Palazzo dei Congressi*, Editalia, Roma 1990.
S. PORETTI, *Progetti e costruzione dei palazzi delle poste a Roma 1933-1935*, Edilstampa, Roma 1990, pp. 39-84.
S. PORETTI, *Roma post-office 1933-1935: design and construction*, Atti della I Convegno Internazionale do. co. mo. mo., Eindhoven 1990, pp. 152-156.
S. PORETTI, *Tradizione e Innovazione nell'architettura italiana degli anni trenta a Roma: I palazzi delle Poste di Libera - De Renzi, Samonà, Ridolfi*, in M. Casciato, S. Mornati, C.P. Scavizzi (a cura di), Il modo di Costruire (Atti del convegno), Edilstampa, Roma 1990, pp. 489-502.
AA.VV., Pagano, *Architettura tra guerre e polemiche*, Firenze 1991.
G. MURATORE, S. LUX, E. CRISTALLINI, A. GRECO*, Palazzo dei congressi. Vicende e documenti inediti*, Roma 1991.
S. POLANO, *Guida all'architettura italiana del novecento*, Electa, Milano 1991.
L. ZORDAN, R. MORGANTI, *Edilizia per il commercio. Mercati, supermercati, magazzini e centri commerciali in Italia 1970-1992*, Futura, L'Aquila 1992.
M. CASCIATO, S. MORNATI, M.P. SCAVEZZI (a cura di), *150 anni di costruzione edile in Italia*, Edilstampa, Roma 1992.
E. DASSORI, *Edifici in acciaio*, CUSL, Genova 1992.
K.FREMPTON, *Storia dell'architettura moderna*, Zanichelli, Bologna 1993.
S. PORETTI, *Tecniche di costruzione fra modernismo e autarchia*, "Roma moderna e contemporanea", 3, 1994.
R. VITTORINI, *La struttura metallica nella costruzione moderna in Italia*, "Rassegna di architettura e urbanistica", 84-85, 1994/95, pp. 132-142.
S. MORNATI, A. ROSATELLI; S. STUCCHI (a cura di), *Serramenti e sistemi di facciata*, NIS, Roma 1994.
G. BRINO, *Crystal Palace, Cronaca di un'avventura progettuale*, Sagep, Genova, 1995.
A.M. ZORGNO, *Materiali tecniche progetto. La cultura del progetto nel Piemonte del secondo Ottocento*, Franco Angeli, Milano 1995.
F. MASI, *Costruire in acciaio. VI ed. rifatta ed ampliata di La pratica delle costruzioni di acciaio*, Milano 1996.
F. DAL CO (a cura di), *Storia dell' architettura italiana. Il secondo Novecento*, Electa, Milano 1997.
E. DASSORI, *La copertura metallica nella Francia del XIX secolo*, BE-MA, Milano 1997.
E. GODOLI, *Guide all'architettura Moderna Il futurismo*, Laterza, Bari 1997.
S. PORETTI, La costruzione, in F. Dal Co (a cura di), *Storia dell'architettura italiana. Il secondo Novecento*, Electa, Milano 1997.
L. ZORDAN, P. DE BERARDINIS, R. MORGANTI, G. DI GIOVANNI, *Coperture strallate. L'esperienza italiana 1958-1995,* GTE, L'Aquila 1996.
F. BELLINI, *Toscana, Emilia, Romagna, Marche*, in F. DAL CO (a cura di), *Storia dell' architettura italiana. Il secondo Novecento*, Electa, Milano 1997, pp. 140-175.
S. PORETTI, *Cartiera Burgo, Mantova 1960-1964*, "Casabella", 651-652, 1997/98, pp. 96-102.
P. G. BARDELLI (a cura di), *La Dimora della Reale Mutua in Torino. Esperienze di restauro del Moderno*, OCTAVO, Firenze 1998.
C. OSTORERO, *Armando Melis de Villa tra Art Déco, Novecento e Razionalismo: aspirazioni locali al clima internazionale e loro salvaguardia*, in P. G. Bardelli (a cura di), La Dimora della Reale Mutua in Torino. Esperienze di restauro del Moderno, OCTAVO, Firenze 1998, pp. 77-96.
C. MELE, *Il progetto e l'edificio*, in P. G. Bardelli (a cura di), La Dimora della Reale Mutua in Torino. Esperienze di restauro del Moderno, OCTAVO, Firenze 1998, pp. 97-118.
P. G. BARDELLI, *Difficoltà e incognite nel cantiere per il restauro. Le immagini del cantiere originario, prezioso contributo alla lettura dell'edificio*, in P. G. Bardelli (a cura di), La Dimora della Reale Mutua in Torino. Esperienze di restauro del Moderno, OCTAVO, Firenze 1998, pp. 119-142.
G. FANELLI, R. GARGIANI, *Storia dell'architettura contemporanea*, Laterza, Bari1998.
S. MAFFIOLETTI, *BBPR*, Zanichelli, Bologna 1998, pp. 34-35.
A. PIVA, V. PRINA, Grandi magazzini La Rinascente, piazza Fiume, Roma, 1957-1961, in A. PIVA, V. PRINA, Franco Albini 1905-1977, Electa, Milano 1998, pp. 341-347.
E. TRIVELLIN, *Storia della tecnica edilizia dall'Unità ad oggi*, Alinea, Bologna 1998.
R. CAPOMOLLA, *Alcuni particolari architettonici e costruttivi nel restauro del palazzo postale di Adalberto Libera e Mario De Renzi all'Aventino*, in M. CASCIATO, S. MORNATI, S. PORETTI (a cura di), *Architettura Moderna in Italia, documentazione e conservazione*, Atti del I Convegno Nazionale do.co.mo.mo. Italia, Edilstampa, Roma 1999, pp. 515-523.

R. CAPOMOLLA, R. VITTORIANI (a cura di), *Studi sull'edilizia in Italia tra Ottocento e Novecento*, Edilstampa, Roma 1999.
M. CASCIATO, S. MORNATI, S. PORETTI (a cura di), *Architettura moderna in Italia. Documentazione e conservazione*, Edilstampa, Roma 1999.
S. MORNATI, *Evoluzione del serramento in Italia negli anni venti e trenta*, in M. CASCIATO, S. MORNATI, S. PORETTI (a cura di), *Architettura moderna in Italia. documentazione e conservazione*, Atti del I Convegno Nazionale do.co.mo.mo. Italia, Edilstampa, Roma 1999, pp. 197-206.
S. MORNATI, *L'evoluzione dei serramenti in Italia letta attraverso i brevetti d'invenzione*, in R. CAPOMOLLA, R. VITTORINI, *Studi sull'edilizia in Italia tra Ottocento e Novecento*, Edilstampa, Roma 1999, pp. 277-296.
L. ZORDAN, R. MORGANTI, *Coperture strallate. Evoluzione e caratteri della ricerca progettuale in Italia negli anni cinquanta e sessanta*, in M. CASCIATO, S. MORNATI, S. PORETTI (a cura di), *Architettura moderna in Italia. documentazione e conservazione*, Atti del I Convegno Nazionale do.co.mo.mo. Italia, Edilstampa, Roma 1999, pp. 381-389.
A. M. ZORGNO, *Coscienza tecnica e nuova architettura*, in M. CASCIATO, S. MORNATI, S. PORETTI (a cura di), *Architettura moderna in Italia. documentazione e conservazione*, Atti del I Convegno Nazionale do.co.mo.mo. Italia, Edilstampa, Roma 1999, pp. 129-138.
M. D'ORAZIO, *Note sull'impiego della struttura intelaiata in acciaio negli anni '30*, "Costruzioni metalliche", 3, 2000.
M. MATTONE, *Ferro e architettura, l'uso del ferro e della ghisa in territorio piemontese*, Celid, Torino 2000.
P.O. ROSSI, *Guida all'architettura moderna 1909-2000*, Laterza, Roma 2000.
AA.VV., *La costruzione moderna in Italia. Indagine sui caratteri originari e sul degrado di alcuni edifici*, Edilstampa, Roma 2001.
Adalberto Libera: il Palazzo delle Poste, Roma. I lavori di restauro, "L'Architettura, Cronache e Storia", 549, 2001, pp. 414-421.
E. GARDA, *Il vetrocemento. Prodotti, storia, conservazione*, "Recupero e conservazione", 40, 2001, pp. 62-68.
S. PORETTI, *Le tecniche edilizie: modelli per la ricostruzione*, in P. DI BIAGI (a cura di), *La grande ricostruzione. Il piano INA CASA e l'Italia degli anni Cinquanta*, Donzelli Editore, Roma 2001.
P. G. BARDELLI, E. FILIPPI, E. GARDA (a cura di), *Curare il Moderno*, Marsilio, Venezia 2002.
CAGLIOSTRO R. M., LIBRO A., DOMENICHINI C. (a cura di), *Federico Gorio. Esperienze. Ricerche. Progetti.*, Edizioni De Luca, Roma 2002, pp. 139-140.
R. CAPOMOLLA, *Portico. Lucernario. Salone al pubblico. La storia. Il progetto, in Il restauro del Palazzo delle Poste all'Aventino a Roma*, do.co.mo.mo. italiagiornale, 10-11, 2002, pp. 9-11.
F. DAL FALCO (a cura di), *Stili del razionalismo. Anatomia di quattordici opere di architettura*, Gangemi, Roma 2002.
M. D'ORAZIO, *Un progetto di Franco Albini per il riutilizzo della casa tipica a struttura di acciaio*, in P. G. BARDELLI, E. FILIPPI, E. GARDA (a cura di), *Curare il Moderno*, Marsilio, Venezia 2002, pp. 79-87.
G. MURATORE, *Sospeso tra due anime*, in F. DAL FALCO (a cura di), *Stili del razionalismo. Anatomia di quattordici opere di architettura*, Gangemi, Roma 2002, pp. 357-364.
S. PORETTI, S. STUCCHI, R. CAPOMOLLA, T. IORI, S. MORNATI, R. VITTORINI (a cura di), *L'INA Casa. Il cantiere e la costruzione*, Gangemi Editore, Roma 2002.
M.C. TORRICELLI, DEL NORD R., FELLI P., *Materiali e tecnologie dell'architettura*, Laterza, Bari 2002.
E. PIZZI (a cura di), *Renzo Piano*, Zanichelli, Bologna 2002.
A. CARUGHI, E. GUIDA, *Alfredo Cottrau 1839-1898, L'architettura del ferro delle grandi trasformazioni*, Electa, Napoli 2003.
LUSSANO C. (a cura di), *Dalmine dall'impresa alla città. Committenza industriale e architettura*, Quaderni della fondazione Dalmine 3, Dalmine 2003.
R. MORGANTI, *Rivestimenti in cotto assemblati a secco. Il caso della nuova sede della banca Popolare di Lodi*, in F. FASCIA (a cura di), *Atti dell'International Symposium Involucri quali messaggi di architettura Building envelopes as architecture's messages*, Napoli, 9-11 ottobre 2003.
P.O. ROSSI, *Roma, Guida all'architettura moderna 1909-2000*, Laterza, Bari 2003.
L. ZORDAN, R. MORGANTI, *Large roofs, large spaces. Suspended cable roofing in Italy 1948-1970 in Costruction History*, Madrid, 20-24 January 2003, vol. III, Istituto Juan de Herrera, Madrid 2003, pp. 2139-2148.
S. PORETTI, *Modernismi e autarchia*, in G. CIUCCI, G. MURATORE (a cura di), *Storia dell'architettura italiana. Il primo Novecento*, Electa, Milano 2004, pp. 442-476.

A. ROSSARI, *Franco Albini: l'arte del porgere*, "Casabella", 730, 2005, pp. 4-8.

---

[1] Per maggiori approfondimenti sull'edificio Cfr. G. Brino, *Crystal Palace, Cronaca di un'avventura progettuale*, Sagep, Genova, 1995; G. Roisecco, *L'architettura del ferro L'Inghilterra 1688 - 1914,* Bulzoni, Roma 1972.

[2] Cfr. R. Jodice, G. Roisecco, V. Vannelli, *L'architettura del ferro. La Francia (1715-1914)*, Bulzoni, Roma 1973.

[3] Cfr. R. Jodice, *L'architettura del ferro. L'Italia, 1796-1914,* Bulzoni, Roma 1985.

[4] Cfr. A. Carughi, E. Guida, *Alfredo Cottrau 1839-1898, L'architettura del ferro delle grandi trasformazioni,* Electa, Napoli 2003, cui si rimanda per i riferimenti bibliografici ed archivistici.

[5] Per maggiori approfondimenti Cfr. A.M. Zorgno, *La materia e il costruito*, Alinea, Firenze 1988.

[6] Questo progetto riveste un interesse particolare nella storia dei ponti ad arco per l'influenza esercitata sui grandi costruttori della seconda metà del secolo, soprattutto su Eads ed Eiffel.
Cfr. V. Nascè, *La progettazione strutturale e la costruzione metallica dalle origini al periodo 1850 - 1860,* in V. Nascè (a cura di) *Contributi alla Storia della costruzione metallica*, Alinea, Firenze 1982, pp. 9-84.

[7] Il problema principale del progetto è che non rispetta il franco minimo di 100 piedi sull'intera luce previsto per garantire la navigabilità dello Stretto.
Cfr. R. Jodice, G. Roisecco, V. Vannelli, *L'architettura del ferro. L'Inghilterra (1688-1914),* Bulzoni, Roma 1972.

[8] Cfr. A.M. Zorgno, *La materia e il costruito*, Alinea, Firenze 1988.

[9] Cfr. V. Nascè (a cura di), *Il ponte di Paderno,* Electa, Milano 1989, p. 64.

[10] L'acciaio Bessemer (Fig. 5) veniva prodotto operando con aria in pressione sulla ghisa prima in superficie e poi con gorgogliamento dal basso. Questo procedimento permetteva di raggiungere un alto livello di temperatura per lo stato liquido dell'acciaio senza l'utilizzo del combustibile. L'ossidazione rapida e violenta del silicio, del carbone e del manganese, contenuti nella ghisa, determinava la scoperta del convertitore Bessemer con produzione di acciaio in 25 minuti. Tale forno permetteva di bruciare l'eccesso di carbonio della ghisa fusa mediante getti di aria compressa.
In Italia, dopo l'infelice esperienza imprenditoriale di Piombino con un convertitore, venti anni più tardi si ebbe la efficiente Acciaieria Bessemer della Soc. Terni (Fig. 6), con produzione di 300 t/giorno (1886).
Cfr. M. Mattone, *Ferro e architettura, l'uso del ferro e della ghisa in territorio piemontese,* Celid, Torino 2000, p. 19.

[11] Sidney Gilchrist Thomas riuscì ad eliminare il fosforo presente nel metallo predisponendo un rivestimento basico all'interno del convertitore, insieme all'aggiunta di un certo quantitativo di calce. Quest'ultima, che rivestiva internamente il convertitore, tendeva naturalmente a combinarsi con il fosforo, garantendone così la rimozione dal metallo stesso. Il rivestimento acido, sino ad allora adottato per eliminare il carbonio, il silicio e il manganese veniva ora affiancato da quello basico specifico per il fosforo. La scelta dell'uno piuttosto che dell'altro, o un'eventuale loro combinazione, dipendeva dalle caratteristiche chimiche della ghisa utilizzata per la produzione dell'acciaio.
Cfr. E. Rappini, *L'evoluzione del materiale e dei processi siderurgici dalla ghisa al ferro, all'acciaio,* in V. Nascè (a cura di), *Contributi alla Storia della costruzione metallica*, Alinea, Firenze 1982, p. 96.

[12] La possibilità di raggiungere, nel forno a riverbero, la temperatura di fusione, permise di utilizzare il rottame ed eventualmente cariche miste con ferro, ghisa e minerale per realizzare acciaio di qualità speciale con la più ampia diversificazione anche se nel tempo di 6-8 ore.
Cfr. E. Rappini, L'evoluzione del materiale e dei processi siderurgici dalla ghisa al ferro, all'acciaio, in V. Nascè (a cura di), Contributi alla Storia della costruzione metallica, Alinea, Firenze 1982, p. 96.

[13] Cfr. R. Jodice, G. Roisecco, V. Vannelli, *L'architettura del ferro. La Francia (1715-1914)*, Bulzoni, Roma 1973.

[14] Tra gli elaborati richiesti, per la prima sezione, una "trattazione descrittiva dei tipi e dei metodi costruttivi con un'indagine comparativa sulla convenienza tecnica ed economica dell'impiego dell'acciaio "mentre per la seconda uno "studi; architettonico e statico" del fabbricato. Gli architetti sono così invitati a confrontarsi con gli aspetti tecnici, economici e organizzativi del progetto anche se è precisato che "sarà tenuto conto della maggiore valorizzazione che i progettisti daranno all'acciaio anche come elemento estetico". E.A. Griffini, *Costruzioni a struttura di acciaio,* Rassegna di Architettura, 5, 1932, pp. 227-233.
Il primo premio per il progetto della casa d'abitazione viene assegnato all'ing. Bruno Bolis e tre premi ex aequo. Per la seconda sezione, poiché la Commissione "non ha riscontrato il desiderato equilibrio tra pregi estetici e statici dei progetti presentati" non viene scelto nessun progetto.
Cfr. R. Vittorini, *La struttura metallica nella costruzione moderna in Italia*, "Rassegna di architettura e urbanistica", 84-85, 1994/95, pp. 132-133.

[15] Cfr. M. D'Orazio, *Un progetto di Franco Albini per il riutilizzo della casa tipica a struttura di acciaio,* in P. G. Bardelli, E. Filippi, E. Garda (a cura di), *Curare il Moderno,* Marsilio, Venezia 2002, p. 80.

[16] Al termine della Triennale si svolge a Milano il IV Convegno dei Tecnici Metallurgici Italiani dedicato ai temi della costruzione metallica con particolare riferimento alla diffusione ed all'impiego dell'acciaio nell'architettura e nel mondo della produzione.
Vengono presentate le realizzazioni e pubblicate, in anteprima, cinque delle sei relazioni del Convegno al quale partecipano numerosi tecnici tra cui Bruno Bolis, Giulio Sirovich, Giulio Molteni, Fausto Masi, Giuseppe Pagano e Ignazio Batoli.
Cfr. *L'applicazione dell'acciaio nelle costruzioni edilizie al IV convegno dei Tecnici Metallurgici,* "Rassegna di Architettura", 1933, pp. 452-454.

[17] La Torre Littoria, come si legge sulle pagine di "Casabella" è "un'opera in cui l'architettura moderna e la tecnica nuova trovano un punto di contatto: né architettura pura, né pura ingegneria, essa è come il limite di un gusto in cui si trovano risolte armoniosamente tutte le premesse pratiche ed estetiche di un'epoca".
Red., *La torre littoria,* "Casabella", 8-9, 1933, p. 20.
[18] Cfr. G. Molteni, *La saldatura nelle costruzioni in acciaio,* "Casabella", luglio 1934, pp. 74-77.
[19] Cfr. G. Fiorini, *Tensistruttura 1934*, "Casabella" , VII, 74, 1934, pp. 4-7.
[20] In Italia, il ferrofinestra viene inizialmente introdotto sulla base della produzione europea, in particolare tedesca. Soltanto alcuni anni dopo la produzione diviene nazionale, questo grazie ad alcuni perfezionamenti dell'industria italiana.
Cfr. *Infissi metallici,* "Casabella", 81, 1934.
[21] Pagano intanto, con Guido Frette, cura la sezione "Acciaio per edilizia" nell'ambito della mostra dei sistemi costruttivi e dei materiali edilizi che si tiene per la VI Triennale di Milano.
La mostra, organizzata e curata dall'Associazione Nazionale Fascista fra gli Industriali Metallurgici Italiani, riguarda i "Sistemi costruttivi e materiali edilizi". Quest'ultima documenta l'applicazione dei sistemi costruttivi e dei materiali, dal cemento armato, ai laterizi, al vetrocemento, all'acciaio, con interessanti comparazioni sul costo per il materiale (cemento armato, acciaio, muratura di mattoni e muratura mista) impiegato per l'ossatura portante di una casa d'abitazione.
Cfr. E. Tedeschi, *La mostra dei sistemi costruttivi moderni e dei materiali da costruzione alla VI Triennale di Milano,* "Architettura", gennaio 1937, pp. 41-51.
[22] Cfr. "Casabella Costruzioni", 125 -126, 127, 129; 1938.
[23] G. Pagano, *Architettura* e *costruzione,* "Casabella Costruzioni", 134, 1939, pp. 34-35.
[24] G. Pagano, *Presentazione,* "Casabella Costruzioni", 124, 1938, pp. 42-43.
[25] Fausto Masi, ad esempio, fa un quadro ben preciso sulla condizione dell'industria italiana delle carpenterie metalliche sottolineando l'insostituibilità, in alcuni casi, di tale materiale proponendo anche alcune soluzioni per l'utilizzo dell'acciaio ma con la massima economia.
"Se le strutture d'acciaio si presentano nella maggior parte del casi insostituibili tecnicamente ed economicamente (si intende in condizioni normali), non minore è la loro importanza dal punto di vista della difesa nazionale […] In acciaio erano i ponti che permisero di stabilire rapide comunicazioni attraverso i fiumi abissini. In acciaio le coperture del depositi, le aviorimesse e i baraccamenti per la truppa, in acciaio le torri radio, i pali per linee elettriche e telefoniche, i cavalletti per teleferiche, in acciaio i serbatoi per acqua e per oli minerali. Una diminuzione della quantità di carpenterie metalliche annualmente prodotte non pare dunque possibile, datane la pratica insostituibilità; è però possibile realizzare sul loro peso delle ragguardevoli economie […]". F. Masi, *Costruzione metallica e autarchia,* "Casabella Costruzioni", 124, 1938, p. 44.
[26] G. Pagano, *Presentazione,* "Casabella Costruzioni", 124, 1938, pp. 42-43.
[27] S. Poretti, *La costruzione,* in F. Dal Co (a cura di), *Storia dell' architettura italiana. Il secondo Novecento*, Electa, Milano 1997, pp. 270-272.
[28] Cfr. S. Poretti, *La costruzione,* in F. Dal Co (a cura di), *Storia dell'architettura italiana. Il secondo Novecento*, Electa, Milano 1997.
[29] Cfr. S. Poretti, *La costruzione,* in F. Dal Co (a cura di), *Storia dell' architettura italiana. Il secondo Novecento*, Electa, Milano 1997, p. 283)
[30] "Il riferimento fondamentale è costituito dai sistemi approntati in Inghilterra nell'attuazione di un analogo piano per l'edilizia scolastica. I sistemi Clasp, messi a punto in quell'esperienza, vengono applicati in vari edifici […]."
S. Poretti, *La costruzione,* in F. Dal Co (a cura di), *Storia dell' architettura italiana. Il secondo Novecento*, Electa, Milano 1997, p. 285.
[31] "Si delinea l'esigenza di una struttura trasversale che colleghi università, ente pubblico, impresa di costruzioni, industria. Le fasi principali di questo processo si susseguono rapidamente. Nel 1964 si costituisce l'Aire (Associazione italiana per la promozione degli studi e ricerche nell'edilizia). Nel 1967 il Cm vara i grandi programmi di ricerca sull' edilizia industrializzata, ai quali partecipano, oltre il Politecnico di Milano, l'Ises, la Gescal, il Centro studi per l'edilizia scolastica, l'Ance."
S. Poretti, *La costruzione,* in F. Dal Co (a cura di), *Storia dell' architettura italiana. Il secondo Novecento*, Electa, Milano 1997, p. 285.
[32] La maggior parte degli elementi di una costruzione può essere, quindi, prodotta di acciaio con metodi industriali, fra essi soprattutto le strutture, i solai e le coperture, le scale e, in particolare, le facciate-finestra e le facciate a pannelli.
L. Charvet, Industrializzazione edilizia, Acciaio, n°9, 1967, pp. 381-382.
[33] S. Poretti, *La costruzione,* in F. Dal Co (a cura di), *Storia dell' architettura italiana. Il secondo Novecento*, Electa, Milano 1997, p. 285.
[34] S. Poretti, *La costruzione,* in F. Dal Co (a cura di), *Storia dell' architettura italiana. Il secondo Novecento*, Electa, Milano 1997, p. 288.
[35] Per maggiori approfondimenti sull'argomento Cfr. L. Zordan, R. Morganti, *Coperture strallate. Evoluzione e caratteri della ricerca progettuale in Italia negli anni cinquanta e sessanta*, in M. Casciato, S. Mornati, S. Poretti (a cura di), *Architettura moderna in Italia. documentazione e conservazione*, *Atti del I Convegno Nazionale do.co.mo.mo. Italia*, Edilstampa, Roma 1999, pp. 381-389.
[36] Cfr. S. Poretti, *Cartiera Burgo, Mantova 1960-1964,* "Casabella", 651-652, 1997-98, p. 96.
[37] Cfr. L. Zordan, R. Morganti, *Large roofs, large spaces. Suspended cable roofing in Italy 1948-1970* in *Costruction History, Madrid, 20-24 January 2003*, vol. III, Istituto Juan de Herrera, Madrid 2003, pp. 2139-2148.